

**“OPTIMIZACION DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO Y APRENDIZAJE
VIRTUAL PARA EL ANÁLISIS DE LA TENSIÓN DEL PAPEL EN EL
AREA DE ESMALTADOS DE PROPAL I”**

GUILLERMO LEON ZAPATA ALVAREZ

GILSON GIOVANY GIL GUTIERRES

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2005**

**“OPTIMIZACION DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO Y APRENDIZAJE
VIRTUAL PARA EL ANÁLISIS DE LA TENSIÓN DEL PAPEL EN EL AREA DE
ESMALTADOS DE PROPAL I”**

GUILLERMO LEON ZAPATA ALVAREZ

GILSON GIOVANY GIL GUTIERRES

Proyecto de grado para optar al titulo:

Ingeniero Mecatrónico

Director:

ADOLFO ORTIZ ROSAS

Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2005**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico:

Ing. ADOLFO ORTIZ ROSAS

Director

Santiago de Cali, Noviembre 25 de 2005.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por permitirnos terminar esta etapa
de nuestra vida.

A nuestros padres:

Sr. Guillermo León Zapata Umaña.

Sra. Gloria de Socorro Álvarez Cardona.

Sr. Jose Uriel Gil Henao.

Sra. Nohra Gutiérrez Mondragón.

Por confiar en nosotros y por estar en todo
momento apoyándonos.

A nuestros hermanos:

Gloria Alejandra Zapata Álvarez.

Lina Mercedes Zapata Álvarez.

Oscar Edwin Gil Gutiérrez.

José David Gil Gutiérrez.

Por que de una u otra manera fueron
un apoyo para nosotros.

A los señores:

Jimmy Tombé.

Julio Cesar Lemos.

Jorge Humberto Quesada.

Adolfo Ortiz Rosas.

Por su valiosa colaboración y apoyo
en este trabajo y en nuestra carrera.

A nuestros amigos:

Juan Manuel Motato.

Daniel Calderón.

Katherine ospina

Felipe García.

Harold Jurado.

Julián Albarello.

Alejandro posada

Por su valiosa amistad y gran
apoyo en momentos difíciles.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE:

Con gratitud por la formación humana y académica que nos brindaron.

GLOSARIO

ALIMENTACIÓN (MAGAZINE): Consiste en depositar rollos de papel y prealistar empalmes en los para efectuar cambios de bobina de papel en forma semiautomática o completamente automática.

BOBINA: Es el conjunto formado por el rodillo y el papel enrollado en el mismo.

CALANDREADO: Proceso por medio del cual se le proporciona un brillo a las bobinas.

CCM (CENTRO DE CONTROL DE MOTORES): Cuarto donde se encuentran todas las fuentes, PLC's y Drive's, que conforman el control para cada uno de los motores de la máquina esmaltadora.

COMBI: Parte de la máquina esmaltadora, encargada de aplicar y controlar el exceso del esmalte en el papel por cualquiera de sus dos caras, la máquina posee 4 unidades de aplicación.

CONTRARODILLO (BACKINGROLL): Rodillo ubicado en el combi.

CONTROLADOR: Es el encargado de generar una señal correctiva partiendo de la diferencia entre el valor de la variable deseada y el valor de la variable medida, esta diferencia recibe el nombre de error.

CRACKING: Cuando el papel al finalizar el proceso queda con una humedad inferior al 5% y por lo tanto la película de esmalte aplicada se convierte en quebradiza.

DCS (SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO): Consiste en una serie de elementos y equipos interrelacionados en comunicación tanto en la parte operativa y el software implementado para el control de proceso de los equipos.

DESEMBOBINADO: Etapa donde se prepara una bobina para ser empalmada con otra, aquí se registra el diámetro de la primera y se empieza a girar hasta el punto que alcance la velocidad de la otra y se procede al empalme.

DRIVE: Es un conversor de energía eléctrica, bien sea AC/DC, DC/AC, AC/DC/AC.

EMBOBINADO: Parte de la máquina esmaltadora donde se enrolla el papel que a sido esmaltado sin que quede con ningún tipo de arrugas, para este proceso también se utiliza un rodillo de acero.

EMPALME: Consiste en unir dos bobinas en pleno proceso para tener un proceso continuo, este se realiza por medio de una cinta doble faz adhesiva y ocurre cuando la velocidad de la bobina que se esta terminando es igual a la de la que la va a reemplazar.

ENCODER: Dispositivo electro-mecánico (sensor) que por medio de la rotación de un eje centrado genera pulsos (señal digital) de acuerdo a la cantidad giros dados por el mismo, y con el cual se puede medir la velocidad de un motor por ejemplo.

ENHEBRAR: Consiste en pasar a través de la máquina esmaltadora el papel que se desea procesar, desde el inicio de la misma (alimentación) hasta el final (embobinado). Este proceso se realiza manualmente una sola vez ya que los acoples de bobinas se hacen de aquí en adelante de manera semiautomática o automática.

ESMALTAR: Proceso de estucar y dar brillo a las bobinas.

ESTUCADO: Consiste en aplicar esmalte a bobinas (rollos de papel) base, este proceso se lleva acabo en los combi.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Representación matemática de un sistema por medio del método de la transformada de Laplace.

IGBT (TRANSISTOR BIPOLAR DE PUERTA AISLADA): Se trata de dispositivos semiconductores, capaces de agruparse para conmutar corrientes eléctricas de hasta 1000 amperios a tensiones de varios miles de voltios. A frecuencias de conmutación extremadamente rápidas, Los IGBT se utilizan ya como conmutadores que controlan potencia en diversos tipos de aparatos, componentes y sistemas. En muchos casos, se interconectan IGBT para controlar la potencia aplicada a motores eléctricos.

JUMBO: Parte de la máquina esmaltadora encargada de realizar el empalme de bobinas de papel.

MANILA: Consiste en una guaya de acero con un recubrimiento en caucho que sirve para enhebrar el papel a lo largo de los rodillos de la máquina.

MASTER: Motor maestro que sirve como punto de referencia para programar el Tiro en el sistema, cuando los motores están por delante de este motor se dice que el tiro es positivo, cuando están por detrás el tiro es negativo.

NDCU (DRIVE CONTROL UNIT): Unidad electrónica donde se hace todo lo referente con el control de velocidad y torque, también se encarga de las comunicaciones con el PC, con el PLC, el inversor.

NGDR: Son plaquetas que tienen un conjunto de IGBT's, y dependiendo de la potencia del motor que vaya a manejar el tamaño de estas plaquetas puede cambiar.

OPC SERVER: Software que permite la comunicación y el manejo de las variables entre un cliente y dispositivos como PLC's y unidades de control compatibles con el mismo.

PARÁMETROS: Los parámetros son aquellos valores que se pueden cambiar para obtener una variación y un control sobre el motor, los parámetros se cambian a través de un software como el "drive Windows" o el MAVATAE.

NIP: Se define como el punto de empalme de un rodillo viejo con uno nuevo.

PWM: La modulación por ancho de pulso se utiliza para controlar la velocidad del motor haciendo switchear un mosfet u otro transistor, este método está basado en la obtención de un voltaje DC variable a partir de una onda rectangular de frecuencia constante y ciclo útil variable.

REFILAR: Consiste en cortar los extremos del rodillo o bobina de papel para darle un acabado y un ancho específico deseado para luego proceder a esmaltarlo.

REEREELER: Máquina de proceso anterior a la máquina esmaltadora (OMC) encargada de refilar rodillos de papel para esmaltar provenientes de la máquina 1 una productora de papel.

SECADO: Proceso mediante el cual se disminuye la humedad relativa de manera uniforme que posee el papel después de haber pasado por el proceso de estucado.

SET POINT: Es la variable que representa el valor al cual se desea que llegue la variable que se esta controlando.

TENSIÓN: Fuerza de tracción o tensión a la que está sometida la hoja de papel de la bobina cuando se esta realizando el proceso de esmaltado.

TIRO: Es la variable que representa el valor al cual se desea que incremente o decremente la velocidad de los motores que están por delante o por detrás del motor Master respectivamente.

CONTROL DE TENSIÓN EN ATRASO: Esto ocurre cuando la celda de carga sensa la tensión antes del motor al cual esta realimentando. La diferencia radica en que la tensión y la velocidad son inversamente proporcionales.

CONTROL DE TENSION EN ADELANTO: Esto ocurre cuando la celda de carga sensa la tensión después del motor al cual esta realimentando. La diferencia radica en que la tensión y la velocidad son directamente proporcionales.

OMC (OUT MACHINE COUTER): Siglas en inglés para máquina esmaltadora. Cuando se menciona esta sigla se esta haciendo alusión a la máquina esmaltadora.

CONTENIDO

	Pág
0. INTRODUCCIÓN.	24
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
2. MARCO TEÓRICO.	26
3. ANTECEDENTES.	27
4. OBJETIVOS.	28
5. JUSTIFICACIÓN.	29
6. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL PROCESO DE ESMALTADO.	31
6.1. ALIMENTACIÓN Y DESEMBOBINADO.	31
6.2. ESTUCADO Y SECADO.	48
6.3. CALANDREADO Y EMBOBINADO.	65
7. SISTEMA DE CONTROL GENERAL.	74
7.1. ESTACIÓN DE INGENIERÍA.	75
7.2. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS).	79
7.3. SISTEMAS INFORMACIÓN.	86
7.4. RODILLOS Y MOTORES.	87
7.5. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.	94

8. FUNCIONAMIENTO DEL DRIVE ACS 600	96
8.1. NDCU (DRIVE CONTROL UNITL).	96
8.2. INVERSOR ACS 600.	98
8.3. TRANSISTORES DE COMPUERTA ABIERTA.	103
8.4. EVALUACIÓN DEL DRIVE.	104
 9. MÉTODO DE DISEÑO MECATRÓNICO.	 106
9.1. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN.	106
9.2. PLANTEAMIENTO DEL CLIENTE.	107
9.3. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.	108
9.4. BENCHMARKING.	111
9.5. GENERACIÓN DE CONCEPTOS.	113
9.6. EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA.	116
9.7. PRUEBA DE CONCEPTOS.	118
9.8. DISEÑO DETALLADO.	118
 10. DESCRIPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL.	 119
10.1. LAZO DE CONTROL PID.	121
10.2. LAZO PARA FIJAR LA REFERENCIA DE LA VELOCIDAD DEL PAPEL.	123
10.3. IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR DC Y DISEÑO DEL CONTROLADOR.	125
10.4. COMPARACIÓN DE OSCILOSCOPIOS.	137

10.5. MONITOREO DE SEÑALES Y PRUEBAS DE RESULTADOS	139
11. CONCLUSIONES.	143
12. RECOMENDACIONES.	145
BIBLIOGRAFÍA	146
ANEXOS.	147

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Cinta doble faz y cinta negra	40
Figura 2. Fotocelda que sensa el diámetro	41
Figura 3. Electroválvulas de control de los pistones.	44
Figura 4. Panel de control de unwind y magazine.	48
Figura 5. Combi en funcionamiento.	57
Figura 6. Grafica de un combi.	57
Figura 7. Secador apagado.	58
Figura 8. Secador encendido.	58
Figura 9. Calandria.	66
Figura 10. Sensores y transmisores de la calandria.	70
Figura 11. Acumulador hidráulico.	71
Figura 12. Panel de la pope reel o embobinadota.	72
Figura 13. GOP.	78
Figura 14. Dakol.	78
Figura 15. Track ball.	79
Figura 16. AC 450 de ABB.	82
Figura 17. Estación remota de entrada y salida.	84
Figura 18. Rodillo de vacío.	90
Figura 19. Rodillo corrector	92

Figura 20. Unidad de control (NDCU)	97
Figura 21. Lazo de control de velocidad y torque del drive ACS 600.	98
Figura 22. NGDR.	100
Figura 23. Distribución de los IGBT's en la NGDR.	100
Figura 24. Motores hasta 9 Hp y 30 Hp.	101
Figura 25. Motores desde 30 Hp hasta 70 Hp.	101
Figura 26. Motores desde 70 Hp hasta 150 Hp.	102
Figura 27. Motores desde 150 Hp hasta 300 Hp.	102
Figura 28. Motores desde 300 en adelante.	103
Figura 29. Caja negra.	113
Figura 30. Descomposición funcional.	113
Figura 31. Árbol de conceptos.	116
Figura 32. Lazo de control de un motor.	119
Figura 33. Lazo de control PID.	121
Figura 34. Captura del set point.	123
Figura 35. Etapa de potencia para identificación.	126
Figura 36. PWM.	127
Figura 37. Linealización.	129
Figura 38. LM 2907.	130
Figura 39 .Identificación en ISYS.	131
Figura 40. Función de transferencia del motor.	132
Figura 41. Esquema de conexión al ISYS.	132

Figura 42. Función de transferencia del motor en lazo abierto.	133
Figura 43. Respuesta en lazo abierto.	133
Figura 44. Respuesta de la planta con controlador.	136
Figura 45. Osciloscopio anterior.	137
Figura 46. Osciloscopio actual.	137
Figura 47. Ventana de variación de escalas.	138
Figura 48. Visor de coordenadas.	139
Figura 49. Grafica de respuesta de la velocidad ante cambios de tensión.	139
Figura 50. Respuesta del control ante perturbaciones.	140
Figura 51. Demostración de funcionamiento del Zoom.	141
Figura 52. Visualización de 3 motores.	141
Figura 53. Tiro.	142
Figura 54. Interacción de los tipos de aplicaciones.	149
Figura 55. Interfaz OPC server.	150
Figura 56. Ventana "insertar nuevo dispositivo".	151
Figura 57. Ventana "ingreso nombre de aplicación".	151
Figura 58. Ventana "ingreso de alias".	152
Figura 59. Interfaz OPC datamanager.	153
Figura 60. Ventana "apertura de matrítikon".	154
Figura 61. Ventana "datamanager".	155
Figura 62. Ventana "Iconos OPC".	155
Figura 63. Abrir el software MAVATAE.	156

Figura 64. Pasos 1 y 2	157
Figura 65. Paso 3.	158
Figura 66. Configuración.	158
Figura 67. Paso 4.	159
Figura 68. Paso 5.	160
Figura 69. Paso 6.	161
Figura 70. Paso 7.	162
Figura 71. Ventana “cargar parámetros”	163
Figura 72. Presentación.	163
Figura 73. ACS 600.	164
Figura 74. Cierre de combis.	168
Figura 75. Secuencia de estabilización de la OMC.	169
Figura 76. Respuesta del controlador (PI) a un Cambio escalón en el error.	173

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Accionamientos	92
Tabla 2. Jerarquía De Las Necesidades Del Cliente.	109
Tabla 3. Métricas de necesidades.	109
Tabla 4. Relación de métricas con necesidades.	110
Tabla 5. Satisfacción de las necesidades del cliente en competidores.	111
Tabla 6. Evaluar medidas en productos competidores.	112
Tabla 7. Valores ideales y marginales.	112
Tabla 8. Especificaciones Técnicas Finales.	117
Tabla 9. Precisión del control de velocidad.	122
Tabla 10. Tabla de Comparación de Osciloscopios.	138
Tabla 11. Arranque Sin encoger.	165
Tabla 12. Arranque Con encoger.	166

LISTA DE ANEXOS

	Pag
1. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.	147
1.1. OPERACIÓN.	147
1.2. MANTENIMIENTO.	163
1.3. PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE.	163
2. GRÁFICOS DE MONITOREO DE LA OMC.	168
3. TIPOS DE CONTROLADORES.	170
3.1. CONTROLADOR PROPORCIONAL.	170
3.2. CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL.	171
3.3. CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO.	173
4. PLANOS	175

RESUMEN

El trabajo que se realizó es la continuación de uno que antes ya se había iniciado y que debido a que se contó con muy poco tiempo no se pudo terminar y a su importancia para Propal S.A se vio la necesidad de culminarlo. Así pues, el módulo virtual anterior tenía las principales bases de funcionamiento, como son: la conectividad vía fibra óptica a través de un OPCServer y la interfaz en pleno funcionamiento, pero en cuanto a la simulación del sistema de control y la visualización de los datos tenía serias falencias, ya que el controlador consistía en multiplicar una ganancia variable lo cual implicaba que no se pudiera observar, de manera aproximada a la realidad, el comportamiento de la planta, y la visualización de los datos en el osciloscopio no era muy precisa. Debido a esto el trabajo que a continuación se presenta cuenta como estas funciones fueron mejoradas. También se encontró otra falencia, la cual es que los operarios de la máquina esmaltadora no conocían en su totalidad y claramente los principales conceptos de funcionamiento de la misma, por lo cual se quiso dar a conocer de manera más precisa y clara las fases del proceso, lo cual implicaba explicar detalladamente cada parte de la máquina esmaltadora y el funcionamiento de todos sus sistemas tanto de control como electrónicos y también los sistemas secundarios como el funcionamiento de los puntos de esmaltado (Combis), para esto se hizo una explicación con un lenguaje que cualquier trabajador de la planta podría entender.

0. INTRODUCCIÓN

La productora de la papel PROPAL (planta 1), en su compromiso con la sociedad e integrantes de su familia de trabajadores, busca día a día el afianzamiento de los conceptos y principios de los procesos manejados por parte del personal a cargo de esta planta capacitándolos y de esta manera incrementar el nivel de calidad y generar un desarrollo sustentable y sostenible.

En el siguiente documento en el capítulo 1 se describe cada una de las fases involucradas en el proceso de esmaltado. En el capítulo 2 se puede encontrar una explicación general del sistema de control en la OMC, en el capítulo 3 se encuentra la descripción funcional del drive, además se muestran los diferentes tipos de configuraciones que puede presentar de acuerdo a la potencia de los motores. En el capítulo 4 se muestra la implementación del diseño concurrente visto desde el método de diseño mecatrónico, en el capítulo 5 se encuentra la explicación del sistema de control implementado en el módulo a nivel de software y el procedimiento paso a paso que se siguió para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los principales síntomas que generan problemas son: Falta de integración de los componentes del módulo MAVATAE, falencias en cuanto a una interfaz poco amigable que no ofrece muchas ventajas necesarias para la comprensión de las señales involucradas en el proceso y la falta de estabilidad y precisión en el sistema de control.

2. MARCO TEORICO

La optimización del módulo de aprendizaje se efectuó por medio de los conocimientos involucrados en los siguientes campos de la ingeniería:

- Informática: Programación en lenguajes centrados en objetos.
- Redes y control industrial: Programación de PLC`s, comunicación por medio de un OPC.
- Electrónica: Uso y funcionamientos de drives como convertidores de frecuencia.
- Eléctrica: Funcionamiento de motores AC trifásicos.

Todos estos conocimientos son necesarios para el desarrollo del proyecto debido a que la complejidad de la planta los involucra por completo. El proyecto requiere de la modificación y mejora del software existente (MAVATAE), para una mejor visualización del modelo de la planta por parte de los usuarios; así como también la generación de alarmas producidas por los cambios bruscos de tensión y el monitoreo total de las variables de la etapa a analizar, teniendo en cuenta que estas serán emuladas a partir del mismo software permitiendo así la conexión con el sistema de control para captura y envío de información, haciendo del sistema algo robusto y confiable.

3. ANTECEDENTES

Se han realizado aproximaciones para tratar de entender el funcionamiento de la planta, pero estas se limitan a ensayos en un banco de prueba de los drivers utilizados en el control de los motores. Con el sistema existente desarrollado por Juan Manuel Pérez y Carlos Ernesto Villarraga, de la Universidad Autónoma De Occidente de la Facultad de ingeniería Mecatrónica, ya se tiene un mejor entendimiento del problema pero requiere de un mejoramiento en el sistema de control, que involucre nuevas variables y no se límite solamente al monitoreo de las mismas, así como también cambios a nivel de la HMI (interfaz hombre-máquina).

Se toma información de sistemas de simulación y emulación como lo son los desarrollados por la aeronáutica a nivel mundial para el aprendizaje de los pilotos y como afrontar una posible emergencia antes de llevarlos a pilotear una nave real. Por esta razón, se desea optimizar el módulo de aprendizaje, para comprender mejor los efectos de las perturbaciones externas.

4. OBJETIVOS

➤ OBJETIVO GENERAL

Optimizar el módulo de aprendizaje virtual para el análisis de la tensión en el papel en el área de esmaltados.

➤ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y dar a conocer los principios básicos de funcionamiento de la planta en la que se efectúa el proceso de esmaltado al papel.
- Mejorar el sistema de control de tensión en el papel existente en el módulo, realizando un control PI, utilizando un software centrado en objetos para obtener así un sistema más robusto y confiable a la hora de transmitir cualquier acción de monitoreo y mando.
- Optimizar la HMI, sumándole características al monitor de visualización, tales como la variación de parámetros en los ejes y un acercamiento en el mismo.
- Simular la acción de las celdas de carga para realimentar el proceso y tener una aproximación mas precisa del mismo.
- Realizar una aproximación virtual de la planta por medio de la emulación del comportamiento de tres motores.
- Escribir un manual de operación y de mantenimiento.
- Escribir un artículo en formato IFAC sobre el proyecto.

5. JUSTIFICACION

La productora de papel PROPAL SA., en su afán de contribuir a un desarrollo sostenible y sustentable de la comunidad vallecaucana y de la patria entera; encuentra como necesidad la capacitación y preparación de cada uno los integrantes de su familia. Por esa razón semestre a semestre involucra estudiantes de diferentes universidades con el fin de que afiancen sus conocimientos y además mejorar y documentar cada uno de los procesos que allí se llevan, para que se haga mas sencillo el entendimiento de los mismos. En este caso se decide optimizar el módulo MAVATAE para aproximarse aun más al comportamiento y funcionamiento real de la planta de esmaltado transmitiendo así los principios físicos básicos y las variables que rigen dicho proceso, el cual a través del tiempo se busca ir mejorando cada día mas, obteniendo beneficios como:

- Lograr la integración de los componentes del módulo, y una mejor interacción entre el usuario y el software.
- Reducción de paro en el proceso productivo, que con lleva a un aumento en la producción.
- Capacitación del personal humano, para hacer un manejo adecuado de la maquinária y tomar las decisiones adecuadas cuando existan problemas.

- Documentación valiosa, para el entrenamiento de nuevo personal en la Planta de esmaltados.

En el siguiente capítulo se encuentra la primera parte de la investigación y se describe brevemente cada una de las fases del proceso de esmaltar el papel, para hacer una mejor aproximación al problema y entender el funcionamiento de la máquina.

6. DESCRIPCION DE LAS FASES DEL PROCESO DE ESMALTADO

El propósito de la OMC (out machine coater) máquina esmaltadora externa es procesar papeles base de distintos gramajes y esmaltarlos con óptima calidad de acuerdo a los requerimientos y especificaciones de clientes tanto internos como externos y de esta manera aumentar la productividad. La máquina recibe como alimentación papel refilado proveniente de la rereeler, que lo recibe de máquinas 1 y 3 (fabrican el papel). Estos rollos de papel son cargados por medio de un puente grúa, y trasladados a la zona del magazín. A continuación se listan diferentes fases del proceso.

6.1. ALIMENTACIÓN (Magazine) Y DESEMBOBINADO (Unwind).

El propósito de esta subfase es depositar rollos y prealistar empalmes en los jumbos para ser desembobinados y efectuar cambios de bobina de papel en forma semiautomática o bien a régimen completamente automático a plena velocidad de trabajo, para realizar estos empalmes se debe colocar una cinta doble faz en el extremo del papel y su importancia radica en que al realizar un prealistamiento adecuado de un empalme en los jumbos, podemos garantizar cambios de bobina a velocidad plena de trabajo, manteniendo constante el trabajo en línea de la máquina esmaltadora y así minimizar pérdidas de materia prima por alteraciones en la velocidad y aumentando los estándares de productividad.

Se recibe como alimentación papel refilado proveniente de la rereeler de las máquinas 1 y 3, cargado por medio de un puente grúa en el punto de carga, aire para el trabajo de los cilindros neumáticos y de aire comprimido, energía para el trabajo de equipos eléctricos, aceite para la lubricación de engranajes y sistemas mecánicos y cintas repulpables para empalmes y para células fotoeléctricas.

El sistema de enhebrado de la máquina esmaltadora cuenta con un motor y un reductor encargados de dar movimiento a tres poleas las cuales ejercen tracción sobre la Manila. El sistema de enhebrado se hace por intermedio de una poleas localizadas en frente de cada rodillo de la máquina esmaltadora. Aparte de la tracción ejercida por el motor el sistema de enhebrado posee un equipo de tensión neumático el cual se encarga de mantener tensionada la Manila, de acuerdo a la presión que se haya colocado al sistema de tensión. Dicha presión neumática va de 0 a 5 bar, la presión normal para trabajar el sistema de tensión sin que se presenten daños en los equipos o se reviente la Manila es de 2 a 3 bar.

En la parte de desembobinado se tiene la bobina de alimentación que ha sido descargada en el soporte de la máquina, en donde se registra su diámetro mediante un numero de impulsos detectados por una célula fotoeléctrica, Para realizar el empalme, la bobina de alimentación se pone en movimiento hasta alcanzar la velocidad de trabajo de la bobina que se esta esmaltando, la primer

bobina se va acercando a la segunda mediante un sistema automático de empalme con rodillos de presión y una cuchilla de corte hasta que hacen contacto y se empieza a esmaltar la nueva bobina consiguiendo así un constante trabajo en línea.

6.1.1. Dispositivos presentes en el magazine:

- Bastidor base con rieles de rodadura.
- Punto de carga:
 - Palanca expulsadora.
 - Cilindro neumático.
 - interruptores de aproximación.
- Puntos de paro 1, 2, 3.
 - Palanca expulsadora.
 - Cilindro de aire comprimido.
 - Freno de disco.
 - Interruptores de aproximación.
- Palanca de carga.
 - Elemento elevador mediante husillos.

- Motor de freno de corriente trifásica.
 - Engranaje de ruedas dentadas rectas.
 - Interruptor de aproximación control de tambor.
 - Interruptor de aproximación “sincronización de los husillos”.
 - Interruptor fin de carrera “desgaste del husillo”.
- Instalación de protección.
- Puerta posición de preparación.
 - Puerta posición de carga L.O (lado operador)
 - Puerta posición de carga L.A (lado de atrás)

6.1.2. Dispositivos presentes en la unwind:

- Soporte 1.
- Bastidor de desbobinaje.
 - Generador de freno 32H1M1.
 - Bastidor de accionamiento.
 - Engranaje multiplicador.
 - Acoplamiento.
- Instalación de desplazamiento.
- Guía lineal.

- Husillos con bolas circulantes.
 - Motor de corriente trifásica 32H1M9.
 - Eje cardan.
 - Engranaje angular.
 - Pulsador límite conectado en serie.
 - Célula fotoeléctrica “posición de empalme”.
 - Segmento de la barrera de luz.
 - Célula fotoeléctrica “diámetro de entrega”.
- Cojinetes del tambor.
- Interruptor de aproximación.
 - Semicojinete.
- Acoplamiento 1.
- Interruptor de aproximación.
 - Acoplamiento 1.
 - Cilindro neumático.
- Soporte 2.
- Bastidor de desbobinaje.
 - Generador de freno.

- Bastidor de accionamiento.
 - Engranaje multiplicador.
 - Acoplamiento.
- Instalación de desplazamiento.
- Accionamiento de bobinas.
 - Guía lineal.
 - Elemento elevador mediante husillos.
 - Motor de freno de corriente trifásica.
 - Eje cardán.
 - Pulsador límite conectado en serie.
- Cojinetes del tambor.
- Semicojinete.
 - Interruptor de aproximación.
- Acoplamiento 2.
- Cilindro neumático.
 - Interruptor de aproximación.

- Lubricación de aceite para engranajes.
 - Engranaje del soporte 2.
 - Bomba de aceite.
- Instalación de cambio.
- Rodillos de empalme.
 - Palanca giratoria.
 - Motor del drive.
 - Motor de elevación rodillos.
 - Eje cardan de motor de elevación.
 - Caballete.
 - Travesaño.
 - Cilindro.
- Cuchillas.
 - Segmentos de la cuchilla.
 - Travesaño.
 - Cilindro.
 - Interruptor de aproximación.

- Instalación colectora.
 - Brazo colector.
 - Sistema de palancas.
 - Cilindro de aire comprimido.
 - Interruptor de aproximación.
- Rodillos de apoyo.
 - Travesaño.
 - Sistema de palancas.
 - Potenciómetro.
 - Cilindro de aire comprimido.
- Discos de mando.
 - Activar empalme.
 - Banderilla de contacto activación cuchilla.
 - Impulso cuchilla.
 - Impulso rodillo de empalme.
 - Banderilla de contacto activación empalme.
 - Banderilla de contacto activación rodillo de empalme.

- Detector de empalme.
 - Motor.
 - Tornillo sin fin.
 - Célula fotoeléctrica.
 - Ducha de limpieza.
- Tren carga tambores vacío.
 - Bastidor base.
 - Compuertas de sobre paso.
 - Barreras de luz.
 - Amortiguador de golpes.
 - Instalación de protección.

6.1.3. Empalme: Para obtener un empalmado de bobina excelente, se debe tener un requisito básico y es un empalme en óptimas condiciones. La cinta negra de predicción que identifica la célula foto eléctrica (figura 1) debe quedar bien posicionada (parte atrás). El punto de empalme tendría que prepararse tal como lo muestra la figura1.

Figura 1. Cinta doble faz y cinta negra.



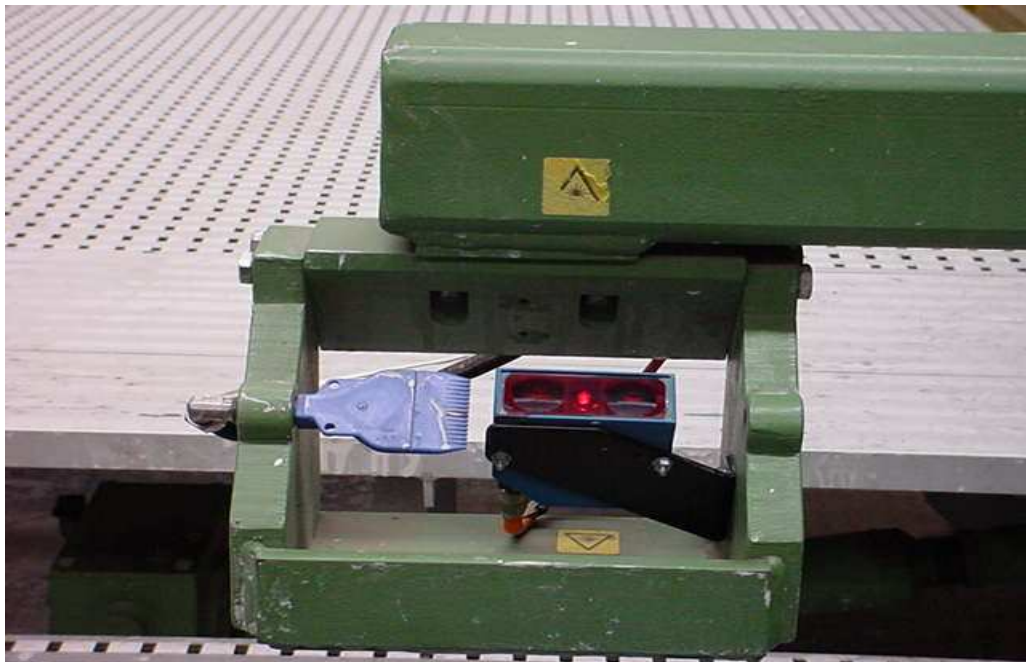
Cortesía Propal S.A

Si el empalme es semiautomático se debe tener en cuenta que el rodillo de empalme tiene un tiempo muerto constante y un tiempo de movimiento constante, para que el rodillo de empalme tome contacto un instante antes del punto de empalme, es necesario marcar un trayecto de preedición, dependiendo de la velocidad de la máquina.

Finalmente el empalme debe entrar en forma uniforme con el rodillo de alimentación (rodillo de empalme), para pegarse en la nueva bobina sin ningún tipo de perturbación que pueda hacerlo romper el papel en el transcurso de la máquina esmaltadora.

En la figura 2 se aprecia la célula fotoeléctrica que sensa el diámetro del rodillo que se esta esmaltando, para cuando este se vaya terminar se proceda a realizar el empalme de una nueva bobina.

Figura 2. Foto celda que sensa el diámetro.



Cortesía Propal S.A

La tensión del papel se mantiene controlada automáticamente de acuerdo al set point que se programe, esta tensión varia, si aumenta o disminuye la velocidad de los motores.

6.1.3.1. Aspectos que se controlan en el empalme automático.

- Determinación automática de la posición del punto de empalme en la circunferencia de la bobina que se ha de empalmar cuya posición se detecta exactamente mediante un detector (figura 2) en el jumbo.
- Determinación automática del diámetro de la nueva bobina al desplazarla hacia el rodillo de empalme. En este caso el diámetro es la diferencia del trayecto dentro de un trayecto de medición determinado (limitado por una célula fotoeléctrica), esta diferencia se registra mediante un memorizador absoluto del trayecto.
- Determinación constante de la velocidad de la hoja de papel, se determina de la cantidad de impulsos del accionamiento piloto dentro de un tiempo de medición fijo.
- Transmite el diámetro determinado al accionamiento, para sincronizar la bobina que se va a empalmar de acuerdo a la velocidad de la hoja de papel. El momento de la sincronización se determina dependientemente del tiempo de marcha restante.

- Determinación automática del espesor de la hoja de papel. Se determina permanentemente y siempre presenta un valor promedio estadístico de las últimas rotaciones.
- Determinación constante del diámetro de la bobina que se esta desbobinando y del largo restante o bien del tiempo de marcha restante, respectivamente.
- Activa automáticamente el rodillo de empalme y de la cuchilla separadora tomando en consideración la velocidad actual, la hoja de papel restante preseleccionada y el diámetro restante. En este caso se reajustan el trayecto de predicción y los momentos de activación al cambiar la velocidad o bien al efectuar una introducción de corrección del diámetro.
- Confecciona un protocolo de los datos de procedimiento mas importantes durante le proceso de empalme.

El control de funcionamiento del magazine es comandado por un sistema de control distribuido (DCS). En la figura 3 se pueden observar las electroválvulas

que controlan los cilindros neumáticos que desplazan las bobinas de papel en el Unwind.

Figura 3. Electroválvulas de control.



Cortesía Propal S.A

6.1.3.2. La secuencia de empalme: Después de estar ubicada en posición de entrega y acoplada la bobina en el primer soporte se realizan los siguientes procedimientos:

- Se envía una señal al drive para desplazar la bobina, la cual da aproximadamente 6 giros para que la celda que detecta la posición de empalme lea por 3 veces la cinta negra pegada en el la bobina, al mismo tiempo un PLC siemens esta recibiendo una señal de impulsos proveniente del encoder del primer soporte (salida de 1024 impulsos por

vuelta) este memoriza la posición de ubicación del empalme y la registra en el PLC (panel local) como distancia de impulsos.

- Un encoder ubicado en el segundo soporte esta enviando una señal al PLC el cual está calculando el diámetro del rodillo que se esta desbobinando, junto con esta señal calcula el metraje restante hasta el empalme y la distancia faltante a empalmar.
- Metros o minutos antes de hacerse el empalme el PLC manda una señal vía hardware al AC450 diciendo se realicen los movimientos de preparación de empalme, y si el diámetro del segundo soporte es inferior al detectado por el sensor de habilitar empalme, el controlador envía salidas al CCM (centro control motores) y salidas a electroválvulas a través de la S800 para algunos movimientos.
- El soporte 1 se mueve hacia la posición preparado, leyendo antes el diámetro del nuevo rodillo a través del sensor de lectura automática de empalme y el sistema empalmador se mueve hacia la posición superior.

- El soporte 2 se mueve a posición de acople y baja la capota, en este momento es cuando el soporte 1 arranca para sincronizar la velocidad con el soporte 2 y metros antes del empalme el AC450 envía una señal al CCM y realiza el último desplazamiento hacia la posición de empalme detectada por los tres sensores.

- En el PLC existe una tabla donde se determinan las distancias del punto de empalme a los puntos de nip de la esmaltadora (combis 1, 2, 3, 4, pope reel) y de acuerdo a la velocidad de la máquina el PLC calcula el tiempo que se demora en llegar a cada punto de nip, con este tiempo el PLC envía una señal antes de realizarse el empalme para abrir las unidades 1 y 2 y cuando se detectan cero metros para el empalme el PLC envía una señal a través del controlador AC450 para el accionamiento de dos electroválvulas que activan los cilindros de rodillos de empalme y corte de cuchilla, a su vez el PLC envía señales al controlador para abrir y cerrar los otros puntos de nips.

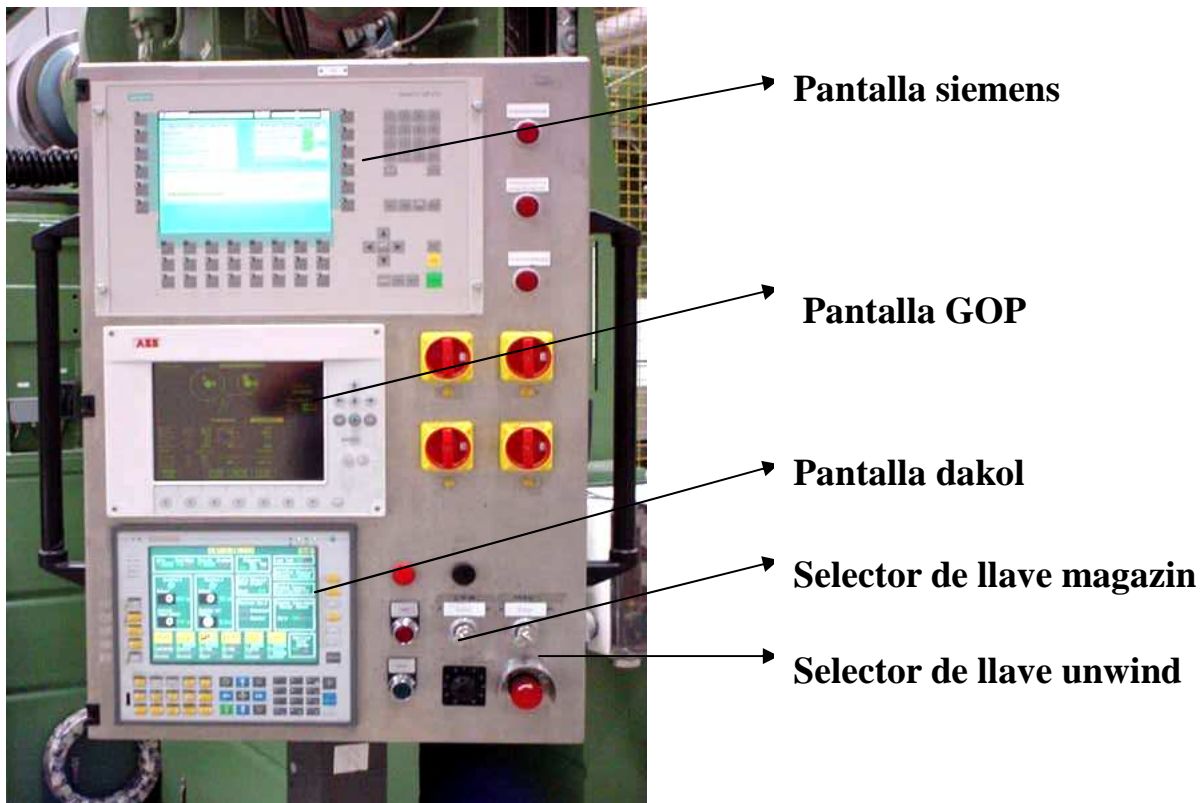
- Finalizado el empalme el controlador envía señales al CCM para hacer retornar el sistema empalmador a la posición inferior, el controlador envía una señal al drive para hacer girar el soporte 2 en sentido contrario por 30 segundos hasta pararlo y envolver la cola restante, al mismo tiempo la

señal llega a la electroválvula que sube la capota 40 segundos después. El controlador envía una señal de salida al centro control de motores CCM para llevar el soporte 2 a la posición superior y allí envía una señal a una electroválvula para desacoplar el soporte 2.

- Luego sale del controlador una señal al CCM para llevar el soporte 2 a la posición de descarga donde por desnivel se transporta el eje vacío hacia el tren carga tambores quien posee un freno neumático que cuando pasa el eje es detectado por un sensor que envía una señal al controlador, este la procesa y saca una nueva señal hacia el CCM para hacer desplazar el soporte 2 de la posición superior a la posición inferior. Tres minutos antes del empalme el PLC envía una señal al controlador, donde es procesada y enviada al CCM para la orden de arrancar el acelerador de ejes en el pope reel.

La figura 4 muestra el panel de control que opera la primera parte de la máquina que es alimentación (magazine) y desembobinado (unwind).

Figura 4. Panel de Control de Unwind y Magazine.



Cortesía Propal S.A

6.2. ESTUCADO Y SECADO.

El propósito de esta subfase es esmaltar rollos de papel base de las máquina 1 y 3 en cuatro estaciones de estucado, secarlos con un procedimiento por el cual se retira gradualmente el exceso de agua en el estucado del papel, mediante radiación infrarroja, generada por quemadores que trabajan a base de gas, y sopladores con aire caliente (capotas), y así alcanzar un porcentaje de humedad requerido. La secadora de infrarrojos y la cubierta de aire postconectada en

conjunto se denomina secadora integral, en la zona de secadora IR tiene lugar un proceso de calentamiento y un subsiguiente proceso de evaporación debido a que el proceso de evaporación aún no ha sido acabado en la zona del sistema de aire de circulación de la secadora IR, la cubierta de aire postconectada tiene la tarea de acelerar la evaporación posterior y de evacuar la capa límite de vapor que se ha producido, enfriando al mismo tiempo el papel, dicho efecto reduce adicionalmente el riesgo de residuos en los rodillos y cilindros de secado subsiguiente que ocasionan rayas al papel. La fase de operación se puede dividir en dos partes funcionales siguientes.

- **Estucado**
- **Secado**

6.2.1. Estucado: En la parte del estucado entra papel base a las unidades de aplicación que constan de 4 estaciones, cada combi se compone de dos sistemas: el sistema dosificador y el sistema aplicador, el dispositivo dosificador se llama **Vari Bar**, este sistema dosifica el esmalte con una varilla giratoria que gira en dirección contraria al contrarrodillo detrás de la varilla vari bar los labios forman dos cámaras pequeñas en esta subfase se controla:

- La entrada uniforme de la hoja de papel base a las unidades combi, cumpliendo con todas las especificaciones de calidad exigidas para obtener un pro palcote de optima calidad.

- Para esto se requiere una abertura apropiada “gap” entre los rodillos backing rool y aplicador.
- Un flujo de precoating acorde con la velocidad de la máquina, y las propiedades físicas requeridas para esta precapa como: % sólidos. PH, viscosidad.
- Un flujo de esmalte acorde con la velocidad de la máquina, y las propiedades físicas requeridas para esta capa de top coating como: % sólidos. PH, viscosidad.
- Una perfilación adecuada en el dosificador para obtener una uniformidad en los perfiles de aplicación optimo para el tipo de papel a procesar.

El sincronismo de esta parte de la subfase garantiza el control automático de la dosificación de esmalte permitiendo que sea siempre igual, esto se logra con la variación constante del ángulo del travesaño, también garantiza la minimización de broke (destensionamiento del papel) generado ya que las unidades son levantadas automáticamente al momento del paso de un empalme.

- **Sistema dosificador:** Contra rodillo y travesaño completo con sus unidades dosificadoras:
 - Contra rodillo o backing rool.

- Motor del backing rool.
- Ducha para humectar los extremos del rodillo backing.
- Travesaño completo con sus unidades dosificadoras
 - Travesaño de fijación.
 - Listón de apoyo.
 - Elemento dosificador.
 - Elemento elevador mediante husillos.
 - Motor del travesaño de fijación.
 - Encoders.
 - Cardán del motor del travesaño.
 - Tornillos perfiladores.
 - motor del travesaño completo.
 - tornillo sin fin del travesaño.
 - Motores verticales para girar el elemento dosificador. (motores vari bar).

➤ **Sistema aplicador:** Rodillo aplicador y el recipiente aplicador de esmalte:

- rodillo aplicador.

- Motor del rodillo aplicador.
- recipiente aplicador de esmalte.
- Perfil guía del esmalte únicamente en las combis 3 y 4.
- mecanismo de palancas.
- Pistones neumáticos de la unidad combi.
- Diafragmas o cilindros de presión del equipo de esmaltado.
- Volantes manual con escala (carátula y control del gap).
- Espátulas o rasquetas marginales para limpiar los extremos del rodillo aplicador.
- Duchas para humedecer los bordes del papel.
- Unidad de refrigeración chillers para enfriamiento de las bandejas.
- Tanque de servicio de esmalte en acero inoxidable.
- Bombas de desplazamiento positivo con su respectivo motor.
- Filtro optiscreen.
- Filtro de canastilla.
- Una Válvula de control o de desfogue.
- 5 Válvulas automáticas.

- Dos tanques de almacenamiento de agua, uno para agua fresca y otro para agua caliente.
- Pupitres de mando o panel local.
- Una guarda de seguridad a todo lo ancho.

6.2.1.1. Combi 1: En el esmaltado de la primera combi entran:

- Papel base.
- Esmalte (precoating) a 63% de sólidos.

Y se usa:

- Aire para pistones y controles
- Agua fresca para enfriamiento y duchas
- Agua fría para enfriar las paredes de las bandeja combi, proveniente de la unidad enfriadora chillers.
- Dosificadores como cuchillas “bent blade o rigid blade” varillas con su lecho.

Se desecha:

- Agua fresca al tanque de recuperación de aguas de enfriamiento.
- Aire y agua de las duchas a la atmósfera.

6.2.1.2. Combi 2: En el esmaltado de la segunda combi entran:

- Papel esmaltado y secado por la cara posterior.
- Esmalte (precoating) a 63% de sólidos o en su defecto, permanece la unidad abierta cuando se esmalta papeles C1S.

Y se usa:

- Aire para pistones y controles
- Agua fresca para enfriamiento y duchas
- Agua fría para enfriar las paredes de las bandeja combi, proveniente de la unidad enfriadora chillers.
- Dosificadores como cuchillas “bent blade o rigid blade” varillas con su lecho.

Y se desecha:

- Agua fresca al tanque de recuperación de aguas de enfriamiento.
- Aire y agua de las duchas “a la atmósfera”.

6.2.1.3. Combi 3: En el esmaltado de la tercera combi entran:

- Papel esmaltado con precoating por ambas caras y secado. “aquí se aplica la segunda capa de estucado proveniente del combi 1.”

- Esmalte (TOP coating) a 65 y 66% de sólidos para altos sólidos y para bajos sólidos 63%.

Y se usa:

- Aire para pistones y controles
- Agua fresca para enfriamiento y duchas
- Agua fría para enfriar las paredes de las bandeja combi, proveniente de la unidad enfriadora chillers.
- Dosificadores como cuchillas “bent blade o rigid blade” .

Y Se desecha:

- Agua fresca al tanque de recuperación de aguas de enfriamiento.
- Aire y agua de las duchas “a la atmósfera.

6.2.1.4. Combi 4: en el esmaltado de la cuarta combi entran:

- Papel con doble esmaltado por la cara posterior y secado; también con una capa de precoating proveniente de la combi 2 para ser esmaltada en esta unidad de aplicación.
- Esmalte (TOP coating) a 65 y 66% de sólidos o en su defecto se utiliza una dilución a bajos sólidos (5%) de almidón cocinado para el control de curl, para papeles C1S.

Y se usa:

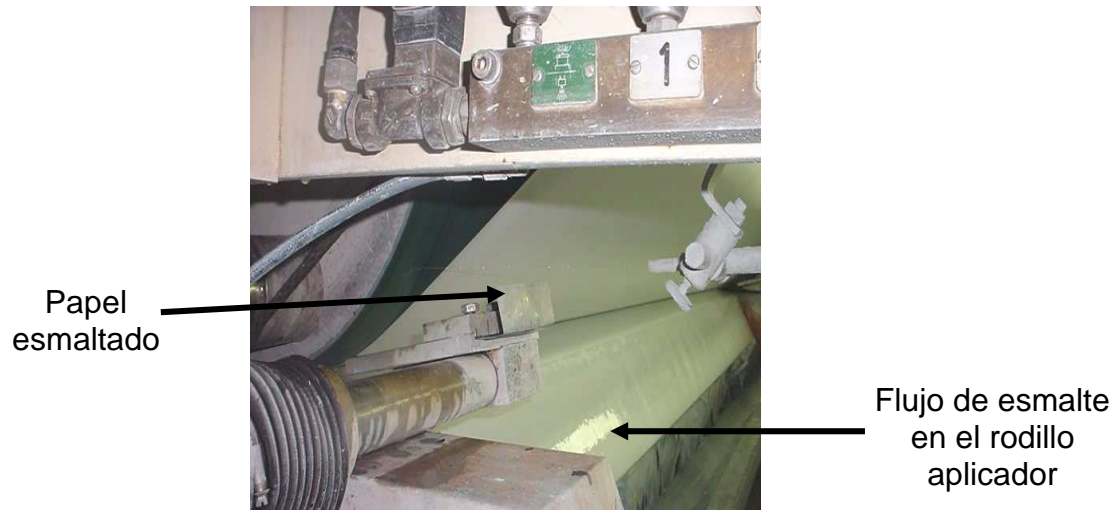
- Aire para pistones y controles
- Agua fresca para enfriamiento y duchas
- Agua fría para enfriar las paredes de las bandeja combi, proveniente de la unidad enfriadora chillers.
- Dosificadores como cuchillas “bent blade o rigid blade” .

Y Se desecha:

- Agua fresca al tanque de recuperación de aguas de enfriamiento.
- Aire y agua de las duchas “a la atmósfera.

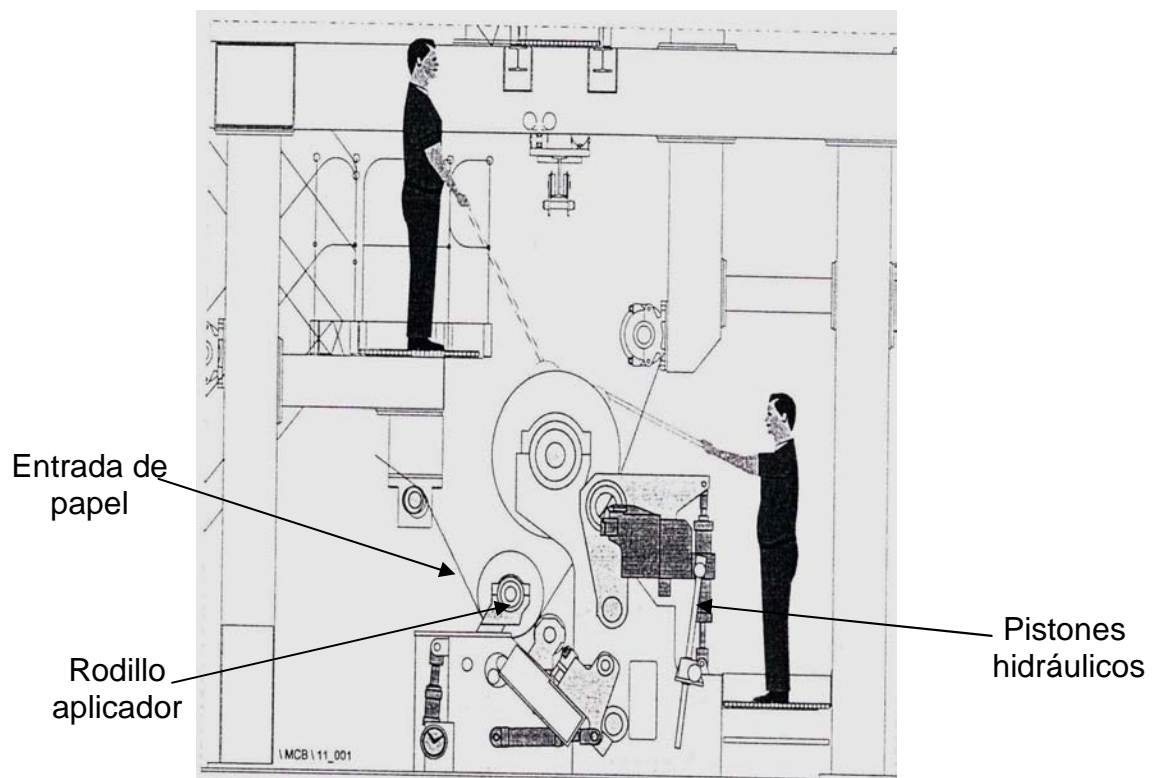
La figura 5 muestra el funcionamiento de un combi cerrado y la figura 6 muestra por donde ingresa el papel al combi y algunos de sus componentes más importantes.

Figura 5. Combi en funcionamiento.



Cortesía Propal S.A

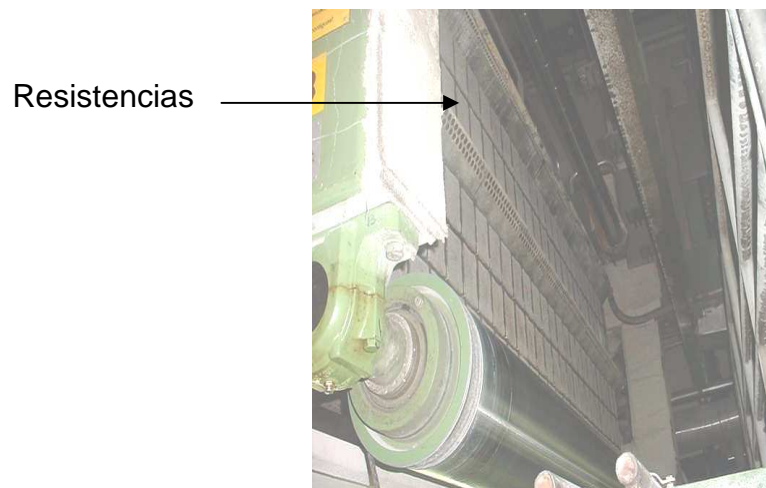
Figura 6. Grafico de un combi.



Cortesía Propal S.A

6.2.2. Secado: El papel sale de los combis con una humedad relativa la cual se debe reducir de una manera uniforme, para esto después de cada combi se encuentra un secador, en las siguientes figuras se observa una secadora encendida y apagada.

Figura 7. Secador apagado.



Cortesía Propal S.A

Figura 8. Secador encendido.



Cortesía Propal S.A

En la fase de secado como anteriormente se dijo se controla la humedad relativa presente en el papel después de esmaltado removiendo la humedad y evaporándola a la superficie del papel mediante el efecto de la radiación infrarroja y complementando luego el retiro de ese vapor húmedo de la superficie del papel con un barrido de aire caliente en los sopladores y capotas de secado.

El sincronismo de la automatización de esta parte de la subfase garantiza el control automático del secado uniforme para que sea siempre igual al programado inicialmente en la pantalla del cuarto de control, teniendo en cuenta que el secado debe ser en una forma gradual para garantizar la uniformidad en el secado y que las propiedades estipuladas para el tipo de papel se cumplan. Este control trabaja directamente sobre el porcentaje de temperatura en los sopladores y capotas de secado.

6.2.3. Factores de Cambio: Como su nombre lo indican estos son los factores que cambian o afectan la calidad y la cantidad de papel esmaltado que se produce en la planta.

6.2.3.1. Arrugas: Los factores que ayudan a eliminar la formación de las arrugas se encuentran en las diferentes secciones de la máquina esmaltadora, por esto se debe mantener las tracciones entre las diferentes secciones y las tensiones

dependiendo del gramaje del papel en los rangos permisibles por el mismo. Las arrugas también están influenciadas por el balance de aire dentro de las capotas, la humedad del papel a la salida de los secadores la cual a su vez depende de la velocidad de la máquina esmaltadora y la potencia calórica que posean los infrarrojos, así como también de la cantidad de esmalte aplicado al papel.

También se presentan arrugas a los extremos del papel en la salida de los sistemas dosificadores debido a la variación de perfiles presentes en el papel base, para ello se encuentran dispuestos rodillos de ajuste a los extremos del rodillo backing rool.

6.2.3.2. Picaduras: Las picaduras aparecen principalmente en los papeles livianos y se forman por bordes muy tostados del papel, también por la formación de anillos de esmalte ocasionados por mala regulación en las pestañas o excesos de esmalte a la orilla del papel por backing rool con talladuras o espátulas desgastadas, se pueden generar picaduras al momento de refilar el papel en la zona de corte por cuchillas desgastadas. Las picaduras se controlan humectando con agua los bordes del papel, limpiando los anillos presentes en los rodillos y disminuyendo la tensión en algunos caso, pero teniendo cuidado de no generar arrugas por baja tensión.

La solución más adecuada es cortar el problema de raíz en la formación de picaduras, es revisar los backing rool, los cuales no deben tener talladuras circulares en los extremos que puedan ocasionar una excesiva aplicación de esmalte, también se presenta por desgaste en los extremos del dosificador, debe ser cambiado inmediatamente, se debe hacer chequeo constante en las espátulas marginales ya que frecuentemente se desgastan y deben ser cambiadas.

6.2.3.3. Rayas : Hay dos tipos de rayas que se pueden formar en la cuchilla dosificadora de esmalte: las llamadas “Streak” y las llamadas “escarchas”, los Streak son aquellas rayas que aparecen esporádicamente y desaparecen por si solas o presionándolas levemente, los Streak se forman debido a mugre que ha quedado represado debajo de la cuchilla dosificadora, este contaminante proviene del esmalte mal filtrado, residuos de papel en la bandeja de esmalte, esmalte solidificado debido a una mala refrigeración en la bandeja, o la cuchilla dosificadora picada, también pueden ser ocasionados por mugres o partículas extrañas en el papel base. Estos Streak se controlan mejorando la capacidad de retención de agua del esmalte, es decir, controlando su viscosidad, manteniendo un control constante en la calidad del papel base, y manteniendo refrigerada la bandeja de esmalte todo el tiempo para evitar se solidifique el esmalte.

Las Escarchas son aquellas rayas leves que permanecen continuamente en el papel, ocasionadas por esmalte seco presente en el bisel del dosificador. Las escarchas se forman por dos motivos, uno es cambio drástico de ángulo en el travesaño, el cual ya había formado un desgaste en el bisel de la cuchilla y repentinamente se le cambia, el otro por un incremento exagerado de los sólidos o la baja viscosidad, las escarchas se controlan mediante el control constante de la estabilidad sólidos y mejorando la retención de agua del esmalte. También se logra el control de escarcha evitando los cambios drásticos de ángulo en el travesaño, y si el proceso requiere el cambio drástico de ángulo se debe cambiar la cuchilla.

6.2.3.4. Aplicación uniforme: Se logra con una buena calidad de esmalte. También se consigue una aplicación uniforme utilizando adecuadamente las herramientas que nos proporciona el equipo tales como: perfilación de cuchilla con los tornillos, graduación de las carátulas, graduación de ángulos y el dosificador adecuado dependiendo del tipo de papel.

6.2.3.5. Marcas: Las marcas son ocasionadas por rodillos sucios, los cuales marcan o tallan el papel al momento de su contacto. Las marcas se controlan manteniendo limpios todos los rodillos, constantemente se debe tocar el papel a todo lo ancho en la zona del pope reel, para detectar grumos ocasionados por

estos rodillos, más que estar limpiando los rodillos se debe erradicar el problema de raíz, y es mantener la máquina limpia en su totalidad para evitar caigan de la parte superior grumos y se impregnen en los rodillos. También se debe controlar la formación de anillos, para evitar caigan grumos sobre los backing roll.

6.2.3.6. Curl (curvamiento): En los papeles esmaltados por una cara (C1S) se controla igualando la humedad del lado no esmaltado con la humedad del lado esmaltado, humectando el lado no esmaltado con una solución a bajos sólidos de almidón cocinado. La solución es aplicada en la combi 4 con dosificador de cuchilla.

6.2.3.7. Peso básico del papel: Se controla aplicando más o menos cantidad pick up de esmalte al papel base, es decir más o menos gramos de esmalte por metro cuadrado de papel. La cantidad de esmalte aplicado depende de cómo se ha programado el set point de aplicación en la pantalla del cuarto de control, de esta forma se mantiene controlado el pick up con el movimiento del ángulo en forma manual o automática, garantizando siempre el mismo pick up para cada combi durante todo el proceso, teniendo en cuenta que las variables que se controlan para la modificación de aplicación son: velocidad, % sólidos y viscosidad.

6.2.3.8. Calibre: Se controla variando principalmente la presión lineal sobre los rodillos S de pasta en la calandria MAT ON LINE, si no bastan las medidas anteriores para poner el calibre dentro de especificación, se puede variar la capa de esmalte aplicada y volver a ensayar con los ajustes de MAT ON LINE.

6.2.3.9. Humedad: Se controla variando las temperaturas, bien sea prendiendo o apagando filas de infrarrojos, o variando los porcentajes de temperatura en los sopladores y capotas de secado , conservando siempre la secuencia de secado correspondiente para cada grado. Este control de secado se puede controlar manual o automáticamente desde la pantalla cuarto de control. Debemos tener en cuenta que se debe aprovechar al máximo la eficiencia en velocidad de máquina esmaltadora, manteniendo la proporción, a más velocidad, humedades más altas, a menos velocidad humedades más bajas.

Una humedad muy baja menor de 5 %, produce un papel con película de esmalte muy quebradiza, al plegarse el papel produce lo que llamamos Cracking. Una humedad muy alta mayor a 6:5% produce blanqueamiento en los rodillos y por consiguiente un acabado deficiente “cáscara de naranja”, ennegrecimiento “blackening”. Para lograr humedades optimas de acuerdo a especificaciones, los equipos deben trabajar todo el tiempo automático, de esta forma garantiremos la estandarización del producto.

6.2.3.10. Brillo: Se controla principalmente variando el pick up (cantidad de esmalte aplicado por metro cuadrado de papel). A mayor pick up el brillo aumenta. Para papeles C2S se debe mantener un control constante y parejo de aplicación por ambas caras del papel, para garantizar brillos parejos. El brillo también depende de la humedad relativa con la que se procese el rodillo a mayor humedad, mayor brillo.

6.3. CALANDREADO Y EMBOBINADO.

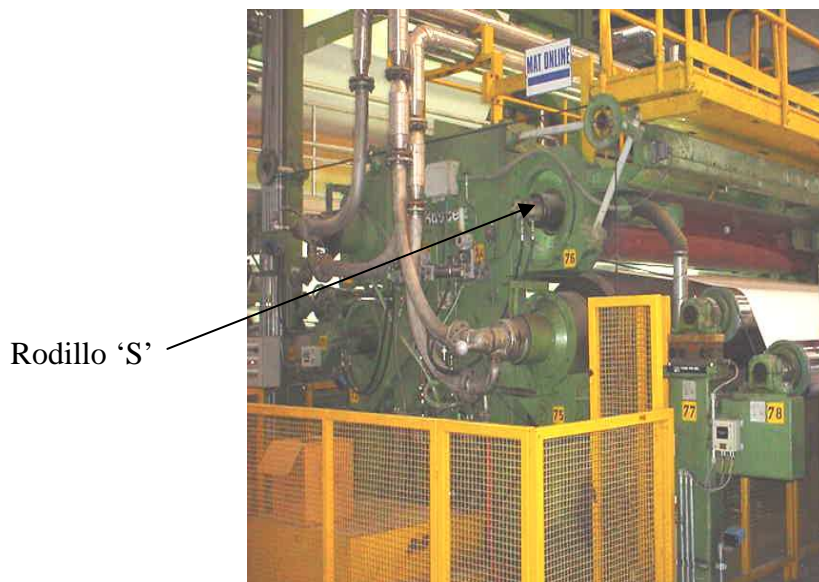
El propósito de esta subfase es calandrear (brillar) y embobinar papeles base de distintos gramajes con óptima calidad de acuerdo al requerimiento de especificaciones de clientes tanto internos como externos. Su importancia radica en un buen embobinado del producto para las siguientes subfases, también el valor agregado que se le puede dar al papel al momento de calandrearlo, la subfase de operación se puede dividir en dos partes funcionales :

➤ **Calandreado.**

➤ **Embobinado.**

En la figura 9 se puede observar la parte final de la máquina llamada calandria la cual es la encargada de darle un toque de brillo final al papel, es decir un acabado fino al mismo.

Figura 9. Calandria.



Cortesía Propal S.A

6.3.1.Calandreado:Cuando el papel entra en contacto con los rodillos haciendo nip la superficie blanda del rodillo “S” se deforma al entrar en contacto con el rodillo metálico produciendo en la hoja de papel que se encuentra en entre las dos superficies un efecto de fricción, de deslizamiento de la superficie blanda contra la superficie metálica, es como un “aplanchado” que hace que se genere brillo en el lado o lados recubiertos con esmalte, se genera más brillo en el lado que esta en contacto con el rodillo metálico.

El Brillo se controla principalmente variando el pick up (cantidad de esmalte aplicado) y la humedad del papel, ya que a mayor contenido de humedad el brillo

aumenta, pero en esta subfase se controla el brillo variando la presión lineal hidráulica del rodillo “S” de cada nip (punto de contacto), el número de nips usados influye notablemente en el brillo final desarrollado. El brillo también depende de la temperatura de los rodillos metálicos aquiters.

El calibre se controla variando principalmente la presión lineal sobre el rodillo “S” de pasta en la calandria Mat On Line. También se puede controlar variando el número de nips usados en el MOL (Mat On Line).

La lisura se puede controlar variando uno o más de los siguientes factores:

- Presión lineal en el rodillo “S” de pasta.
- El pick up.
- Temperatura de secado.
- Humedad.

La lisura se mide en unidades Sheffield, este método de medir lisura tiene la particularidad de que entre mayor sea el valor numérico de la prueba significa que la lisura del papel es mala.

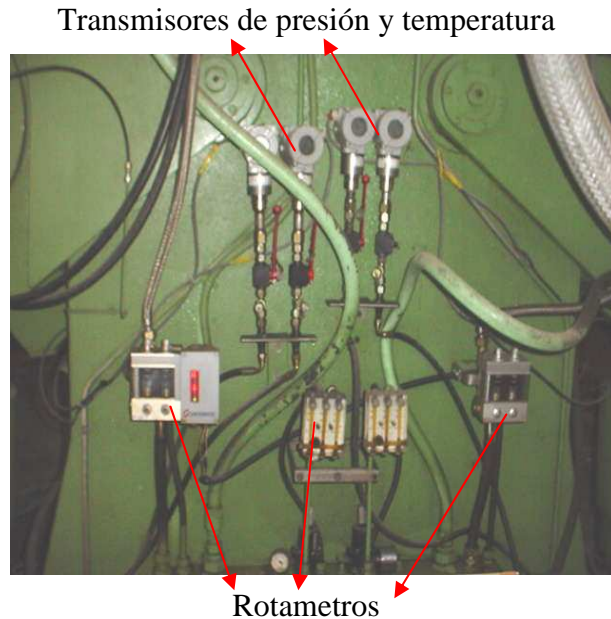
La calandria de la máquina esmaltadora consta de:

- Rodillos sensor de la tensión. 32H14M12 – 32H15M3 -- 32H15M7 Con potencia de 1.5 KW. Motores conectados a drives con celdas de carga. Son los encargados de mantener una tensión constante en la hoja de papel antes y después de los nips mol.
- Rodillo guía. 32H14M13 con potencia de 2,5 Kw y 870 RPM.
- Rodillo curvo ajustable. 32H14M14 Con potencia de 3,5 Kw y 1735 RPM.
- Un rodillo metálico para alta temperatura. Son los mas grandes de la calandria y su acabado es totalmente pulido y esmerilado
- Un rodillo swimming (rodillo S o rodillo de pasta.) tiene las siguientes características:
 - Ancho de superficie del rodillo: 381 cms
 - Diámetro exterior: 52.5/50.0 cm
 - Diámetro interior del rodillo: 34,5 cm
 - Peso total: 6100 Kilos.
 - Peso del rodillo : 3000 Kilos.
 - Presión interior (diferencial) Max. : 7.25-7.15 bar.
 - Presión Max. de línea: 200 da N/cm
 - Presión Max. Interior: 6.55/6.25 bar

- Presión baja presión de línea: 10 da N/cm
- Presión baja interior: 0,55/0.18 bar.

Estos rodillos poseen una camisa o chaqueta interna de doble pared para permitir la circulación de condensado caliente hasta 120° C máximo de temperatura para calentar la superficie del rodillo. El condensado caliente circula en circuito cerrado para prevenir la corrosión interna a causa del oxígeno, la entrada del condensado es por el centro del frente del rodillo y sale por debajo del mismo frente. La característica fundamental de los rodillos “S” es su capacidad para variar la corona (curvatura) de la superficie cuando el aceite presurizado pasa por la región de la cámara de alta presión, el objetivo de la carcasa cubierta con material blando es poderse deformar a lo largo de la línea de contacto entre los dos rodillos cuando se ejerza una presión entre ellos esta deformación del rodillo produce una especie de efecto de fricción de deslizamiento o pulimento sobre la superficie del papel haciendo generar brillo a la capa de esmalte aplicada. El objetivo de la cámara de alta presión es poder deformar la superficie externa del rodillo “S” y producir una corona controlada, es decir, una curva superficial del rodillo ajustable a las necesidades de cada perfil de papel. En la figura 10 se muestran algunos de los componentes fundamentales para el funcionamiento de la calandria.

Figura 10. Sensores y transmisores de la calandria.



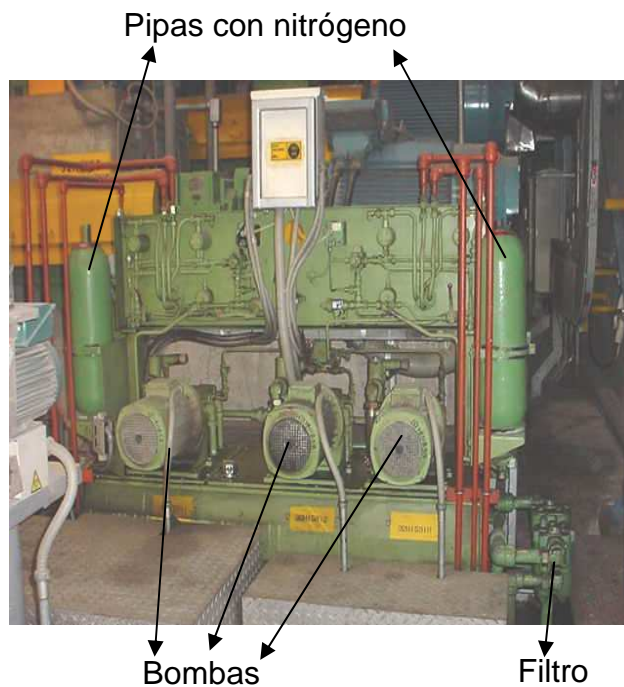
Cortesía Propal S.A

6.3.1.1 Unidad hidráulica Kuster: La función de esta parte de la calandria es levantarlos rodillos de la calandria hasta los rodillos superiores para así hacer presión sobre el papel para de esta manera hacer fricción sobre el mismo y proporcionarle brillo. Las partes de esta máquina son:

- Un tanque de aceite con capacidad de 110 galones, este tanque tiene dos cilindros con nitrógeno, su fin es el de amortiguar el golpe de apriete.
- Tres bombas de alta presión (180 bares - 2556 psi). Una para cada nip y otra de reserva. "32H15M11 -- 32H15M12 -- 32H15M13 motores con potencia de 7.5 Kw y 460/60 RPM. La función fundamental es impulsar el aceite a alta presión a través de tuberías.

- Dos intercambiadores de calor para enfriar el aceite
- Tres filtros de aceite.
- Una unidad de lubricación de para rodamientos.

Figura 11.Unidad hidráulica Kuster



Cortesía Propal S.A

6.3.2. Embobinado: Después del calandreado, el papel pasa a través del rodillo sensor y un rodillo guía al área de medición de propiedades físicas, de peso básico, humedad y calibre del papel por el equipo scanner de ABB. Antes de llegar el papel al pope reel pasa por un rodillo desplegador o curvo, el cual ayuda a desplegar o abrir el papel del centro hacia los extremos para evitar arrugas al momento del embobinado, el tambor del pope reel es refrigerado internamente con

agua fresca procedente de un tanque agua dispuesto en la parte externa de la planta, esta conectado mediante tubería al pope reel por la parte del frente con un roto seal por donde entra el agua de enfriamiento cumpliendo su ciclo y saliendo nuevamente por el roto seal para regresar al tanque de agua fresca. Para el control del embobinado están dispuestas presiones neumáticas independientes a cada extremo en los brazos secundarios, las cuales son comandadas desde la pantalla dakol del panel local del pope reel. Para obtener un excelente embobinado, se deben mantener un estricto control sobre estas presiones, a mayor presión en los brazos secundarios se va a tener una bobina con más contacto sobre el tambor del pope reel y por el contrario a menor presión en los brazos secundarios se va a tener una bobina con menos presión o menos contacto sobre el tambor del pope reel. Los brazos secundarios, adicional a su funcionamiento de ejercer presión para el embobinado homogéneo también sirve para sacar la bobina de papel cuando esta ya ha completado su diámetro de embobinado (MAX. 175 cm.) Función que es realizada manualmente o a régimen automático.

El embobinado se controla con presiones neumáticas a cada lado de la bobina en los brazos secundarios. A mayor presión ejercida por el pistón, mayor será el contacto de la bobina con el tambor del pope reel. Los empalmes automáticos son controlados con el sistema de control distribuido y la ayuda del turn up o impulsor

de ejes. Todos estos comandos son coordinados desde la pantalla dakol del panel local del pope reel.

La figura 12 muestra el panel de control de la embobinadora o pope reel.

Figura 12. Panel de la Pope Reel o embobinadora



Cortesía Propal S.A

El panel local posee también Una pantalla siemens Op7 para el control del cambio de bobina, posee una pantalla GOP para manejo (control) de motores y drives, una pantalla dakol con tres telas o pantallazos para navegar.

En el siguiente capítulo se continuará con la parte investigativa y explicativa, haciendo una breve descripción de lo mas importante que se controla en la máquina esmaltadora.

7. SISTEMA DE CONTROL GENERAL

¿Qué se controla?:

- La comunicación del DCS para mantener la sincronización de los movimientos de los equipos de la máquina esmaltadora.
- Los cambios de grado en el campo, como los cambios de información en las pantallas. cuarto control, dakol y GOP.
- Tensiones. Se debe tener una estabilidad en la tensión de la hoja de papel a través de toda la máquina, para tener condiciones óptimas durante el proceso.
- El vacío en los rodillo Vacuum Rool para garantizar tiros y tensiones.
- El enfriamiento adecuado de los rodillos cooling para evitar rayas en la superficie del papel esmaltado.
- El alineamiento de la hoja antes del embobinado con el rodillo corrector.
- La información emitida por los sensores de los marcos, para optimizar el proceso.
- El enhebrado rápido y eficiente de la máquina para minimizar los tiempos perdidos y aumentar la producción.
- Producción (ton/Hr). Revisando continuamente los puntos antes mencionados, estamos garantizando los estándares de producción programados.

El sistema general de control se puede dividir en las siguientes partes funcionales:

- Estación de ingeniería y sistema de pantallas.
- Sistema de control distribuido “DCS”.
- Sistema de información.
- Rodillos y motores.

7.1. ESTACIÓN DE INGENIERÍA.

Se trata de un computador Hewlett Packard completo que está dedicado al software de control del sistema y el cual está en lenguaje AMPL que es propiedad exclusiva de ABB. Este sistema solo es manejado por el personal técnico especializado y no tiene acceso permitido para el operador, también se tienen otros tipos de pantallas para la operación en campo en los 7 paneles locales que están dispuestos a través de la máquina esmaltadora, donde se observan pantallas dakol para el control de proceso y GOP para el control de drives, tiros y tensiones; además se obtiene la información de control del proceso y los cambios que se puedan ejercer sobre el mismo. Brindan la oportunidad de obtener reportes impresos que proporcionan información para llevar historiales y comparativos de proceso.

7.1.1. Sistema de pantallas: La estación del operador Advant Station 520, es el equipo que ofrece la comunicación hombre máquina con alto desempeño. Las funciones básicas de la estación son:

- Exhibición de la información dinámica de proceso en pantallazos totalmente gráficas y a color.
- Intervención del operador en el proceso con control manual.
- Procesamiento y presentación inteligente de eventos y alarmas.
- Pantallazos de estatus del sistema con informaciones de error en tiempo real.
- Lista de Status, permitiendo una búsqueda en la base de datos del proceso con claves de búsqueda diferentes.
- Copia centralizada de las aplicaciones.
- Capacidad de programación en línea de sistemas de control.
- Colección y almacenamiento de datos históricos.
- Control estadístico de procesos, entre otras.

Las A.S.520 son 4 pantallas que se encuentran dispuestas en el cuarto de control para los sistemas operacionales de la máquina esmaltadora y una para la estación de ingeniería. En el cuarto de control se encuentra el conjunto del sistema de hardware, que está formado por los siguientes elementos:

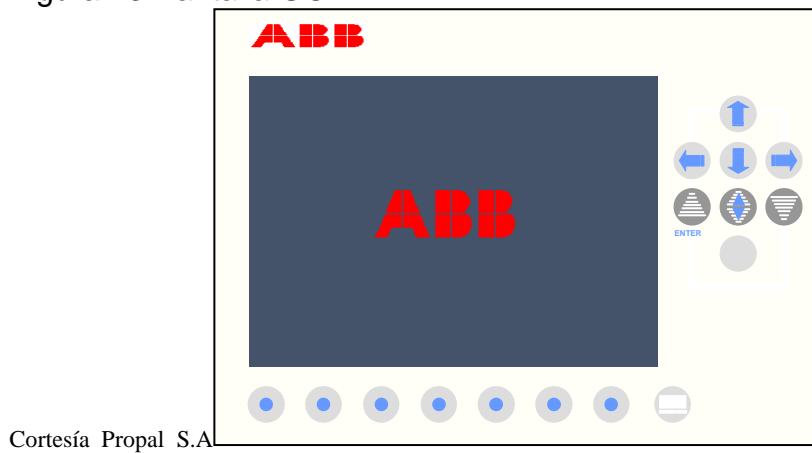
- Procesador AS 520.

- Monitores de 20 ”.
- Teclado especializado para operador.
- Mouse o Raton.
- Track ball.

Las dos pantallas están conectadas al servidor A.S. 520, de la misma forma el teclado, y el track ball, el procesador esta conectado al ADVANT CONTROLLER 450 por medio de cable par trenzado. Las pantallas A.S. 520 o “advant station 520” trabajan, 2 en paralelo con el mismo teclado y el mismo track ball, en cada pantalla se puede observar navegando a través de los distintos pantallazos, las condiciones de operación, gráficos, controles, posicionamiento de equipos, alarmas, etc. Dichas pantallas son la parte visual del control de operación del operador, en donde podemos cambiar las condiciones de trabajo o cambiar el tipo de producto a procesar, cuenta con una unidad impresora a color, para tener en un momento dado, gráficos de los perfiles del papel procesado o impresiones de las condiciones de trabajo utilizadas en el proceso de una bobina o rodillo.

En las figuras 13 y 14 se muestran dos de las pantallas mas importantes dispuestas al servicio de la máquina esmaltadora.

Figura 13. Pantalla GOP



Cortesía Propal S.A

Figura 14. Pantalla Dakol



Cortesía Propal S.A

7.1.2. El track ball : El TrackBall es un controlador de cursor, cuando se usa el TrackBall, el cursor se mueve en la misma dirección que usted gira la bola, los botones tienen la misma función con sus correspondientes botones fijos en el teclado según la figura que aparece sobre estos. Los dos botones de selección hacen que el TrackBall sea de fácil manejo tanto para las operaciones de izquierda como las situaciones a mano derecha.

La figura 15 muestra una foto del track ball con sus respectivos botones funcionales, este dispositivo prácticamente es un Mouse industrial con características de funcionamiento específicas para la máquina en la cual trabaja .

Figura 15.Track ball



Cortesía Propal S.A

7.2. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO “DCS”.

El sistema de control distribuido “DCS” se compone de una serie de equipos interrelacionados en comunicación a través de una red de control MB300, la cual se en carga de mantener la comunicación constante entre la parte operativa y el software implementado para el control de proceso de los equipos, garantizando una efectividad en la calidad y productividad del proceso de papeles pro palcote.

El DCS se extiende con una red de control MASTER BUS 300 “MB300” que interconecta la operación de controles de la planta de preparación de esmalte con la máquina esmaltadora. Esta red de control MB300 posee dos líneas que trabajan siempre en paralelo, una que es la principal “red 11” y otra llamada redundante “red 12”. Este trabajo de las dos líneas en paralelo es con el objetivo de asegurar siempre la comunicación, que en el caso de que se presente una falla en la línea principal seguirá trabajando la línea redundante o en caso de un mantenimiento preventivo del mismo. A esta red de control se conectan la A.S. 520 o “advant station 520” (estación de operación). Son las pantallas ubicadas en los cuartos de control como antes se menciono. Cada punto conectado a esta red recibe el nombre de NODO, para las pantallas del cuarto de control de la planta de preparación sería el nodo 53, para las pantallas del cuarto de control de la máquina esmaltadora sería el nodo 51 y nodo 52, para la pantalla estación de ingeniería A.S. 100 o “advant station 100 engineering station” del cuarto de control sería el nodo 54.

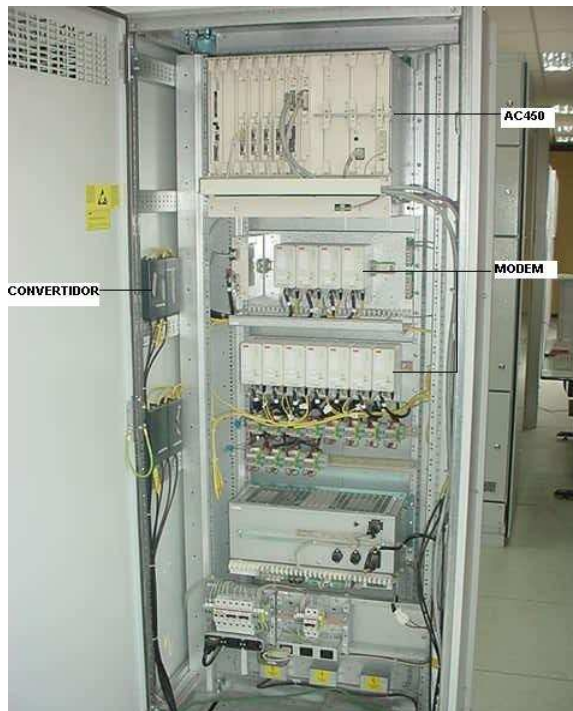
7.2.1. Advant controler 450 de ABB: Es el cerebro del sistema, un procesador con tecnología de tarjetas y módulos ensamblables que permite controlar el sistema ejerciendo un control distribuido mediante redes para control industrial, siendo óptimo para futuras ampliaciones que pueden ser adicionadas al sistema, nuevos módulos. Cuenta con la facilidad de permitir todo tipo de conexiones como

coaxial fibra óptica, o par trenzado, el controlador se encuentra en un gabinete de 80 x 80 x 200 cm. en la sub estación de la máquina esmaltadora. Las ADVANT CONTROLLER 450 “AC450” conectan a esta red de control a través de tarjetas electrónicas de la siguiente forma:

- AC450 NODO 16 COCINA se conecta a través de la tarjeta CS 513.
- AC450 NODO 15 de la OMC “DCS” se conecta a través de la tarjeta CS 513.
- AC450 NODO 18 de la OMC “QCS y DRIVES (integrations)” se conecta a través de la tarjeta CS 513.

Cada AC450 tiene capacidad hasta para 5700 puntos, posee entradas y salidas remota S800. la figura 16 muestra el gabinete donde se encuentra el cerebro de la máquina el A.C. 450 .

Figura 16. A.C. 450 de ABB.



Cortesía Propal S.A

7.2.2. LA S800: Son armarios o gabinetes que se encuentran cercanos en términos medios al proceso y al cuarto central, contienen un sistema estructurado de módulos o tarjetas electrónicas receptoras, transmisoras y convertora de datos, que llegan del proceso o que salen para el proceso, están conectadas con el AC 450 por un lado, y con el proceso por otro, mediante cableado de fibra óptica y/o par trenzado por medio de los cuales se hacen las transmisiones de información, Las quince S800 y su conexión de equipos están distribuidas así:

- S800-1 secado coater 1 KRIGER .
- S800-2 secado coater 2 KRIGER .

- S800-3 secado coater 3 KRIGER.
- S800-4 secado coater 4 KRIGER.
- S800-5 MAGAZINE.
- S800-6 UNWIND.
- S800-7 coater 1 y 2.
- S800-8 coater 3 y 4.
- S800-9 sistema refile.
- S800-10 MOL (mat on line).
- S800-11 POPE.
- S800-12 señales comunes.
- S800-13 señales comunes
- S800-14 CCM esmaltadora.
- S800-15 CCM esmaltadora.

Figura 17. Estaciones Remotas De Entrada Y Salida (S800 I/O)



Cortesía Propal S.A

La figura 17 muestra los gabinetes S800 dispuestos en la esmaltadora.

LA tarjeta CI 545 V01 donde se conectan los marcos escáner y la AOS “advant object Server” (traductor del lenguaje de programación a un lenguaje común) a través de un TPC/IP y pasando antes por un conversor RS232/FO.

La CI 522 donde conectan los drive de la máquina esmaltadora a través de unos AC80 “advant controller 80”. Y pasando antes por dos conversores el TC512V1 y el TC541 V1 par trenzado a fibra óptica.

Los AC80 son controladores muchos mas pequeños que están interconectados entre si con una línea de par trenzado y comunican con las GOP y un NDBU 95, que se conecta por fibra óptica a los drives y estos a su vez a los motores.

La información o conexión de las AC450 nodo 18 con las AC80 pasa a través de MODEM encargados de convertir de información de par trenzado a fibra óptica.

Están dispuestas 10 unidades de AC80 para 63 drives:

- AC80 1 conectan los drives 1 y 2 .
- AC80 2 conectan los drives del 3 al 9.
- AC80 3 conectan los drives del 10 al 16.
- AC80 4 conectan los drives del 17 al 23.
- AC80 5 conectan los drives del 24 al 30.
- AC80 6 conectan los drives del 31 al 37.
- AC80 7 conectan los drives del 38 al 43.
- AC80 8 conectan los drives del 44 al 50.
- AC80 9 conectan los drives del 51 al 57.
- AC80 10 conectan los drives del 58 al 63.

Para mayor interpretación de la terminología de los equipos que componen el DCS a continuación se detallan algunas siglas:

- AC450 = Advant controller 450 (controlador).
- AS 520 OS = Advant station 520 (estación operación).
- AS 100 ES = Advant station 100 engineering station (estación de ingeniería).
- AOS = advant object Server (traductor de variables del lenguaje de programación a un lenguaje común).
- NODO = nodo es cada punto conectado a una red.
- MB300 = master bus 300 (red de control).
- AF100 = advant fieldbus (bus de campo).
- Profibus-fieldbus- modbus-tpc/ip = estos son protocolos de comunicación.

7.3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN.

La máquina cuenta con un sistema de redes que conforman las vías de comunicación del sistema, las cuales tienen como componentes: redes de fibra óptica, redes de par trenzado, redes de cables coaxiales, redes con tecnología TCP/IP, entre otras. .

- **Red de fibra óptica:** En el desarrollo de las nuevas tecnologías, la fibra óptica permite en ciertas circunstancias ser utilizada por su versatilidad y velocidad

en las transmisiones de datos, está conformada por dos cables cuyo núcleo es de fibra óptica con revestimientos especiales y una capa externa de un polímero resistente, sus conectores requieren de la tecnología especial tanto para el conector hembra como para el macho y tanto la transmisión como la recepción se da con tarjetas electrónicas que permiten el flujo de la información digital exclusivamente a la velocidad de la luz.

7.4. RODILLOS Y MOTORES.

En la parte de rodillos y motores se tiene la parte mecánica del proceso, esta parte es de vital importancia debido a que la calidad del producto depende del control no solo automático si no manual en estos equipos, para algunos equipos como rodillos de enfriamiento, o refrigeración de scanner se necesita de agua fría para su normal desempeño, dentro de esta gama de equipos se cuenta también con 12 foto celdas que hacen el control de presencia de hoja para activar enclavamientos de seguridad en la máquina esmaltadora al momento de un reventón de hoja.

7.4.1. Motores: La máquina esmaltadora cuenta con 167 motores donde 90 de ellos tiene drive por tener velocidad variable y los 77 restantes son de velocidad fija. Se describirán en detalle los motores considerados como mas importantes:

- Motores backing rool combi 1, 2, 3, 4: Son motores de 115 HP. Con un reductor acoplado al rodillo por intermedio de un eje cardan. el motor posee un tacómetro en cargado de registrar los pulsos para el control de la velocidad.
- Motores rodillos aplicadores 4 combis: Los motores de los rodillos aplicadores tienen una potencia de 12,7 Kw, y 1700 RPM. Con un reductor y un eje cardan que acopla el movimiento del motor al rodillo.
- Motores de los rodillos de succión: Los motores de los rodillos de succión 1, 2, y 3 tienen las mismas características de potencia. 1630 RPM. Y 52 kw. El motor del rodillo de succión 4 Su velocidad es de 1800 RPM.
- Los motores operados eléctricamente: Se encargan de dar movimiento a un ventilador el cual toma el aire del medio ambiente a través de un filtro y lo lleva hasta la cámara de vacío del rodillo.
- Motores de los rodillos de enfriamiento o cooling rool: Su velocidad es de 1750 RPM y 8,6 Kw. Son motores operados eléctricamente y se encargan de dar movimiento a una bomba que toma agua de una tubería proveniente de del tanque de agua fresca para transportarla hasta la parte interna de los rodillos de enfriamiento.
- Motor del rodillo corrector de hoja: Su velocidad es de 870 RPM y 2,5 Kw. Este motor es operado eléctricamente y esta conectado directamente al rodillo

mediante un eje cardan el cual permite la oscilación del rodillo al momento del ajuste en la hoja de papel.

- Los motores de los rodillos sensores: Al igual que todos los rodillos guías Su velocidad es de 870 RPM Y 2,5 kw. Estos motores operan eléctricamente y están conectados directamente al su respectivo rodillo mediante un eje cardan o peleas.
- Los motores de los rodillos despleadores o curvos: la velocidad es de 1735 RPM y la potencia de 3,5 Kw. Estos motores operan eléctricamente y están conectados directamente al su respectivo rodillo mediante poleas que transmiten el movimiento.
- El motor del sistema de enhebrado de la máquina, tiene una velocidad de 1185 RPM y 52 Kw.
- Los motores de los rodillos aquiters.: Su velocidad es de 1800 RPM y 288 Kw.
- Los motores de los rodillo swimming: Su velocidad es de 1780 RPM y 63 Kw.
- El motor del rodillo del pope reel: Su velocidad es de 1786 RPM y 150 Kw.

La máquina esmaltadora cuenta también con 80 rodillos de los cuales 30 de ellos son guías, 2 en la estación de empalme en la unwind y 17 despleadores o curvos tambien poseee 4 rodillos aplicadores y 4 backing , posee 2 rodillo aquiters,

2 swimming rool y 1 pope reel. Además se tienen 4 rodillos de vacío, 2 rodillos de enfriamiento, 11 rodillos sensores y 1 rodillo corrector de hoja.

7.4.2. Rodillos.

7.4.2.1. Rodillos de Vacío: Los motores de estos rodillos tienen una potencia de 52 Kw y 1185 RPM. Los rodillos de succión o vacío 1, 2 y 3 presentan una característica superficial con maya en acero inoxidable, mientras que el rodillo de vacío 4 la superficie es de material sintético fuerte y perforada con huecos de 3/16" de diámetro. El rodillo N° 2 de vacío hace las veces de master en la máquina esmaltadora ya que por diseño este rodillo divide la máquina en dos partes para el control de los tiros y tensiones.

En la siguiente figura se muestra un rodillo de vacío ubicado en la parte inferior de la máquina.

Figura 18. Rodillo de Vacío



Cortesía Propal S.A

7.4.2.2. Rodillos de enfriamiento: Estos rodillos poseen una unidad enfriadora y una bomba para llevar el agua hasta el rodillo, el cual en su parte interna tiene una cámara por donde se desplaza el agua entrando por el lado del frente y saliendo por la parte de atrás. Estos rodillos de enfriamiento poseen unos ductos de limpieza a todo lo ancho para retirar las partículas sólidas de su superficie. La potencia del motor es de 8,6 Kw y 1750 RPM.

7.4.2.3. Rodillos sensores: La máquina esmaltadora tiene 11 rodillos sensores o también llamados rodillo con celdas de carga, cada celda de carga tiene una caja de control llamada unidad de control PFTK (acondicionamiento) que se comunica con las AC80 para el control de la velocidad del motor del rodillo y mantener una tensión constante en la hoja de papel.

7.4.2.4. Rodillo corrector de hoja: Este rodillo posee una base escualizable a cada lado para facilitar el desplazamiento del rodillo al momento de corregir el curso de la hoja de papel, también posee en la parte de atrás de la máquina un sensor de desviación de banda que es el encargado de detectar el posicionamiento de la hoja y mandar la señal para que se haga la corrección por parte del rodillo. Este control de corrección de hoja se puede ejecutar en forma automática o manual desde un panel local ubicado frente de la estructura del rodillo corrector. La potencia del motor es de 2,5 Kw y 870 RPM.

Figura 19. Rodillo corrector



Cortesía Propal S.A

7.4.3. Accionamiento sistema motor-rodillo:

Tabla 1. Accionamientos

ACCIONAMIENTOS					
Nº DRIVE	AC80	ESTAC GOP	N ° RODILLO	NOMBRE	SWITCH
1	1	A	1	unwind 1	S1
2	1	A	2	unwind 2	S2
3	2	A	3	estación emp.	S3
4	2	A	4	rod. Guía	S3
5	2	A	5, 6, 7, 8	rod. Guía	S4
6	2	A	9, 10	rod. Sensor	S4
7	2	B	11	rod. Curvo	S5
8	2	B	12	backing 1	S5
9	2	B	13	aplicador 1	S5
10	3	B	84	est. Varibar	S6
11	3	B	14, 16	rod. Guía	S7
12	3	B	15	rod. Curvo	S7
13	3	B	17	rod. Curvo	S8
14	3	B	18	rod. Vacío	S8
15	3	B	19, 20	rod. Sensor	S8
16	3	C	21	rod. Curvo	S9

ACCIONAMIENTOS					
Nº DRIVE	AC80	ESTAC GOP	N º RODILLO	NOMBRE	SWITCH
17	4	C	22	backing 2	S9
18	4	C	23	aplicador 2	S9
19	4	C	85	est. Vari bar	S10
20	4	C	24, 26	rod. Guia	S11
21	4	C	25	rod. Curvo	S11
22	4	C	27	rod. Curvo	S12
23	4	C	28	rod. Cooling	S12
24	5	C	29,30,31	rod. Guia	S12
25	5	D	32, 33	rod. Guia	S13
26	5	D	34	rod. Curvo	S13
27	5	D	35	rod. Vacío 2	S13
28	5	D	36, 37, 38	rod. Guia	S13
29	5	D	39, 40	rod. Sensor	S13
30	5	D	41	rod. Curvo	S14
31	6	D	42	backing 3	S14
32	6	D	43	aplicador 3	S14
33	6	D	44, 46, 47	rod. Guia	S15
34	6	D	45	rod. Curvo	S15
35	6	E	48	rod. Curvo	S16
36	6	E	49	rod. Vacío 3	S16
37	6	E	50, 51	rod. Sensor	S16
38	7	E	52	rod. Curvo	S17
39	7	E	53	backing 4.	S17
40	7	E	54	aplicador 4	S17
41	7	E	86	est. Vari bar	S18
42	7	F	55, 57, 58	rod. Guia	S19
43	7	F	56	rod. Curvo	S19
44	8	F	59	rod. Curvo	S19
45	8	F	60	rod. Cooling	S19
46	8	F	61,62,63,64	rod. Guia	S20
47	8	F	65, 67	rod. Guia	S20
48	8	F	66	rod. Curvo	S20
49	8	F	68	rod. Vacío 4	S20
50	8	F	69, 70	rod. Sensor	S20
51	9	F	71	rod. Curvo	S20
52	9	G	72	rod. Aquiters	S21
53	9	G	73	rod. Suimming	S21

ACCIONAMIENTOS					
Nº DRIVE	AC80	ESTAC GOP	N º RODILLO	NOMBRE	SWITCH
54	9	G	74	rod. Sensor	S22
55	9	G	75	rod. Curvo	S22
56	9	G	76	rod. Suimming	S23
57	9	G	77	rod. Aquiters	S23
58	10	H	78, 79	rod. Sensor	S24
59	10	H	80	rod. Curvo	S24
60	10	H	81	pope reel	S25
61	10	H	82	arranque eje	S26
62	10	H	83	Manila enheb.	S27
63	10	H	87	cuchillas refil.	S28

Cortesía Propal S.A

A = panel local unwind

B = panel local combi 1

C = panel local combi 2

D = panel local combi 3

E = panel local combi 4

F = panel local MOL

G = panel local MOL

H = panel local POPE

7.5. EVALUACION DEL SISTEMA DE CONTROL.

Se llegó a la conclusión que el sistema de control es efectivo, pero los problemas radican en que cuando se realiza el mantenimiento de la máquina los involucrados hacen modificaciones sin seguir algunos procedimientos básicos que garanticen que no se descalibre los parámetros de control y funcionamiento de la máquina, tales como el cambio de la posición de los rodillos, lo que se traduce en un cambio en los ángulos de entrada y salida del papel, produciendo que el controlador trabaje con parámetros para los cuales no está calibrado y por ende ocurran rupturas del papel durante el esmaltado y durante el empalme. Para evitar que esto siga sucediendo se debe generar un plan de mantenimiento en conjunto con

los fabricantes de la máquina, así como también brindar una capacitación en todos los aspectos a los operadores, evitando que los procedimientos se hagan de una forma empírica.

En el capítulo siguiente, se describirán los aspectos mas relevantes acerca del funcionamiento del drive.

8. FUNCIONAMIENTO DEL DRIVE

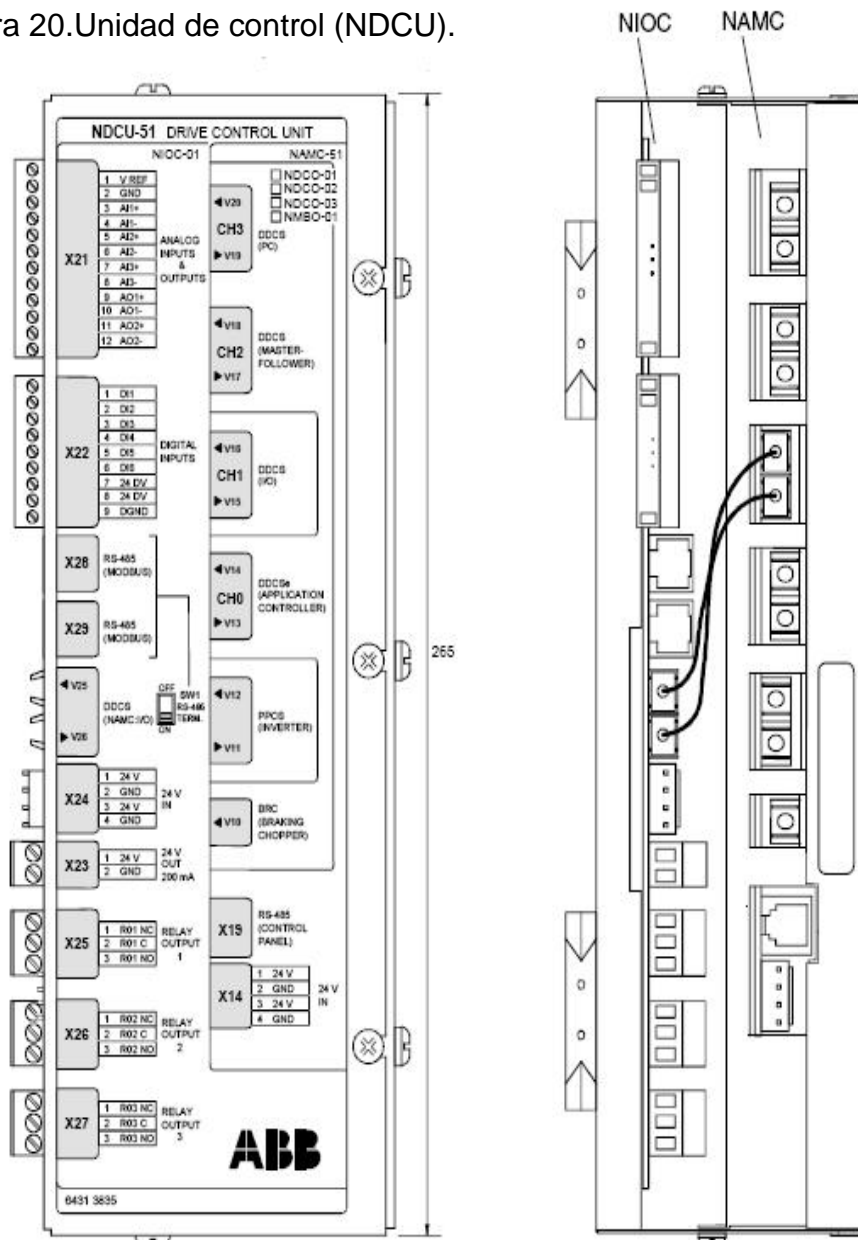
En este capítulo se explicará de manera breve y general el funcionamiento del drive de ABB que maneja los motores de la máquina esmaltadora. Esta parte también constituye el proceso de entendimiento y comprensión del funcionamiento de la máquina y es de vital importancia debido a que en el banco de prueba donde se encuentra el MAVATAE (módulo de aprendizaje virtual) se encuentra dispuesto uno de estos. Los drive están compuestos de dos partes básicamente: la primera que es la NDCU y la segunda que es el inversor ACS 600. A continuación se explicará cada uno de ellos.

8.1. NDCU(Drive Control Unit).

El drive esta compuesto por dos partes esenciales: el inversor, que es donde se encuentra toda la parte de potencia y donde se hace la inversión del voltaje DC a voltaje AC; y la NDCU o Drive Control Unit, que es donde se hace todo lo referente con el control de velocidad y torque, también se encarga de las comunicaciones con el PC, con el PLC, el inversor, y si es necesario con otras NDCU en el caso que en determinada aplicación se necesiten varias de ellas conectadas en serie de manera tal que se utilice la misma línea de MODBUS y así ahorrar trabajo a la hora del montaje, todo se hace por medio de fibra óptica. Como se puede observar en la figura 20, la NDCU esta compuesta por dos tarjetas, la NAMC y la NIOC, la primera es la

encargada de comunicarse con el PC, con el PLC, y el inversor, por medio de los terminales CH0, CH1, CH3, y la segunda contiene una serie de entradas y salidas digitales que se pueden conectar directamente a los módulos de entradas digitales del PLC.

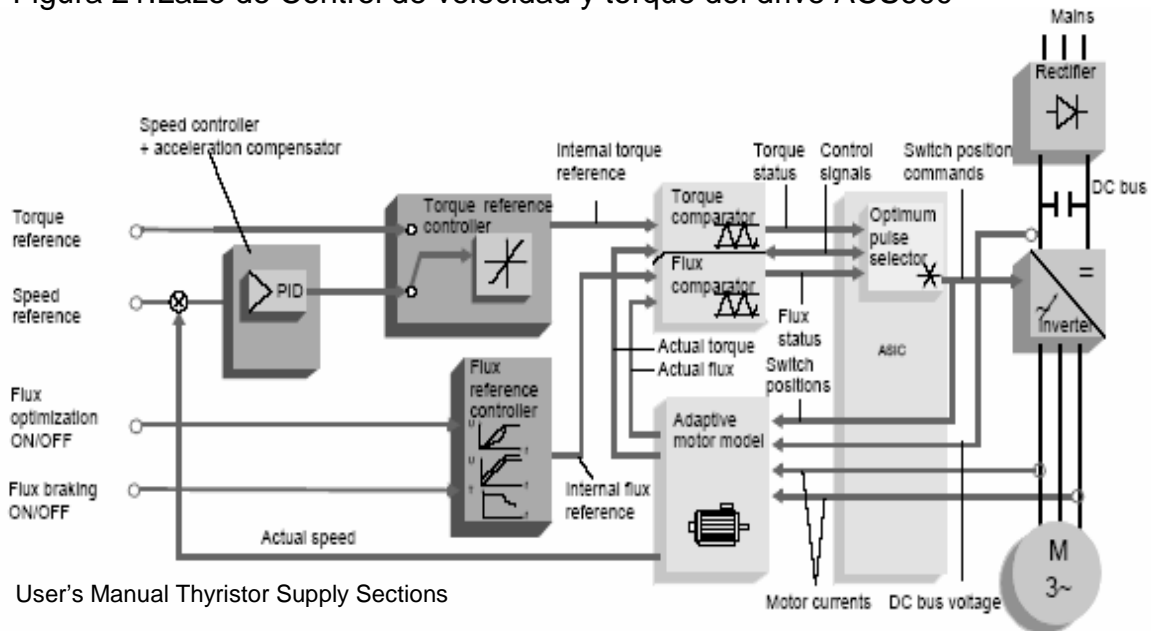
Figura 20.Unidad de control (NDCU).



Cortesía Propal S.A

8.2. INVERSOR ACS 600.

Figura 21.Lazo de Control de velocidad y torque del drive ACS600



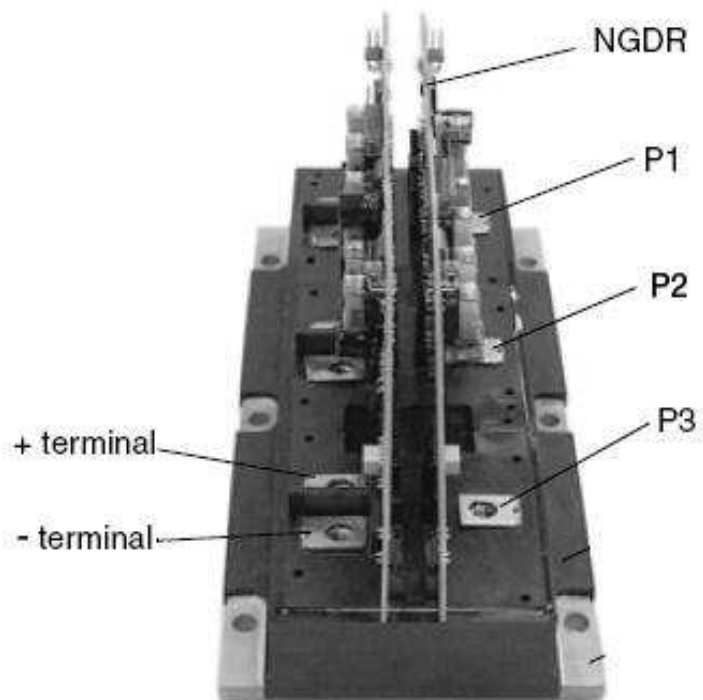
La figura 21 muestra un lazo general de control de velocidad y torque en el drive. El control del motor del conversor de energia ACS 600 se basa en el control directo del torque del motor (DTC: Direct Torque Control) por medio del flujo del estator, los semiconductores inversores de potencia son regulados para lograr el flujo del estator que se requiere y el torque del motor. El módulo de potencia o “switching reference” es cambiado solo si los valores del torque actual y el flujo del estator difieren de sus valores de referencia más que los permitidos por la histéresis, el valor de la referencia para el controlador de torque viene ya sea del controlador de velocidad o directamente de una fuente externa.

El control del motor requiere las medidas del circuito intermedio de voltaje y dos fases de corriente del motor. El flujo del estator es calculado integrando el voltaje del motor en el espacio vectorial. El torque del motor es igual al producto cruz del flujo del estator y la corriente del rotor, la estimación del flujo del estator se mejora mediante el uso del modelo del motor. La medida de la velocidad del eje no es necesaria para el control.

La principal diferencia entre el control tradicional y el DTC es que el control de torque es hecho en el mismo nivel de tiempo que el control de los switches de potencia (25us). No hay voltaje separado y un modulador PWM. Todas las selecciones en los switches están basadas en el estado electromagnético del motor.

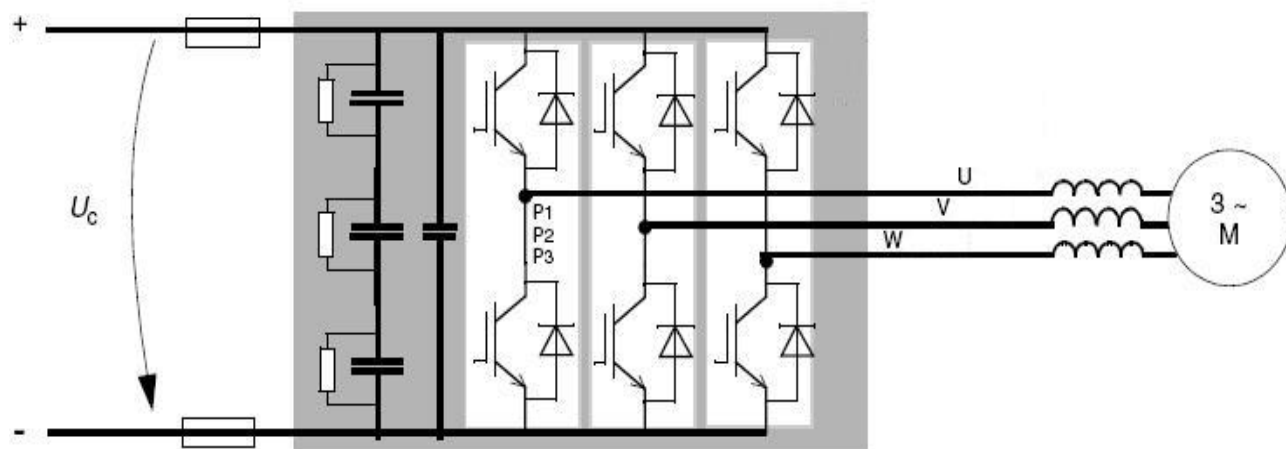
El DTC solo puede ser aplicado mediante tecnología de alta velocidad de procesamiento. Procesadores digitales de señal (MOTOROLA 560XX) son usados en el ACS 600. El inversor internamente contiene las tarjetas (llamadas NGDR) de IGBT's, y dependiendo de la potencia del motor que vaya a manejar el tamaño de estas plaquetas puede cambiar razón por la cual se pueden encontrar varios tamaños de inversores. En la figura 22 se puede observar una NGDR y en la figura 23 su circuito equivalente.

Figura 22.NGDR



User's Manual Thyristor Supply Sections

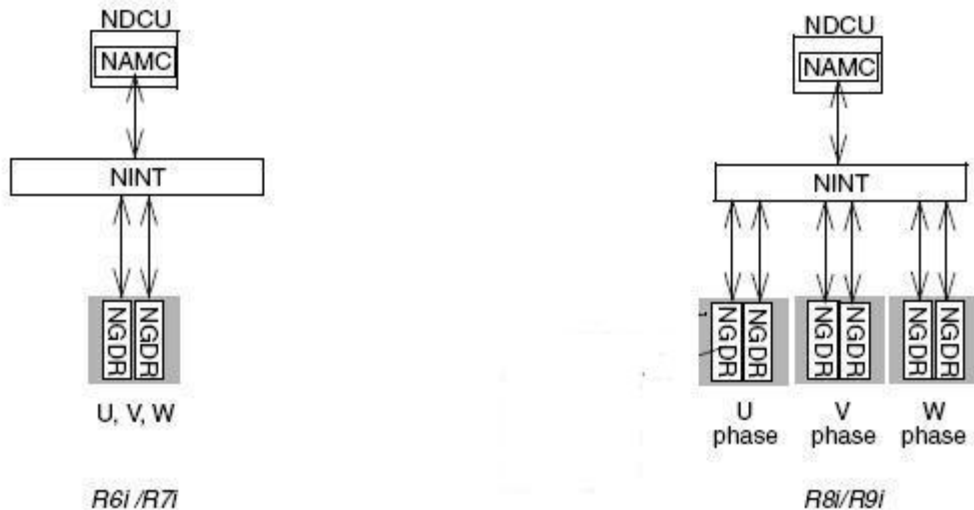
Figura 23.Distribución de los IGBT's en la NGDR



User's Manual Thyristor Supply Sections

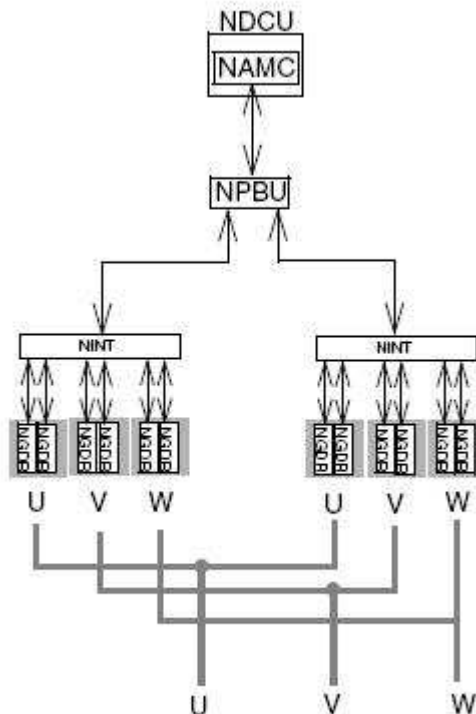
De la figura 24 a la 28 se pueden apreciar el numero de NGDR y su conexión que se deben usar dependiendo de la potencia del motor.

Figura 24.Motores hasta 9Hp y 30Hp



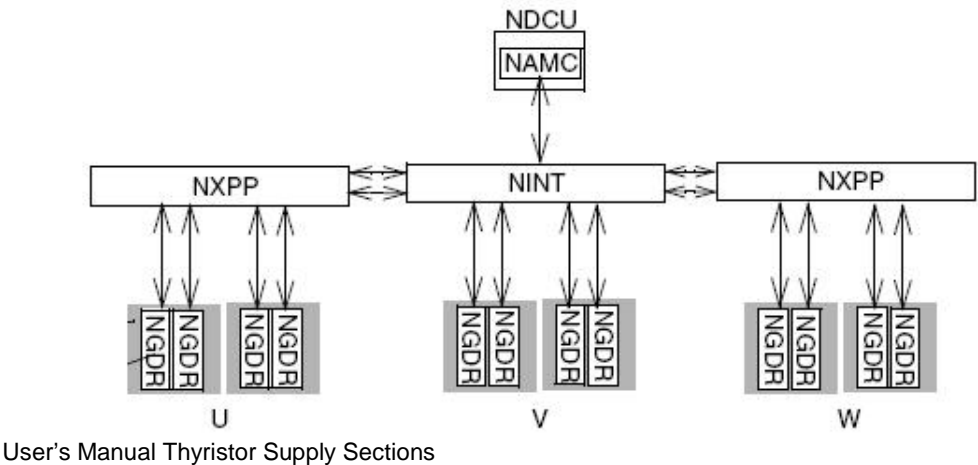
User's Manual Thyristor Supply Sections

Figura 25.Motores desde 30Hp hasta 70Hp



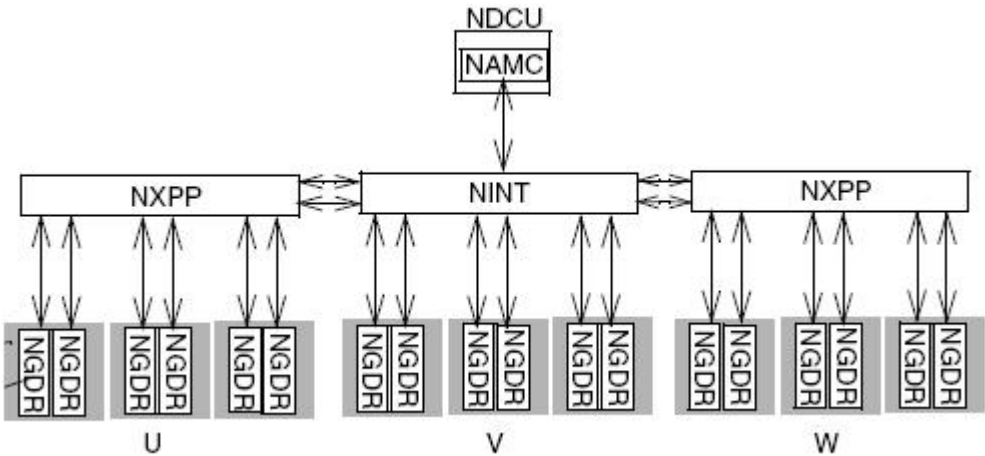
User's Manual Thyristor Supply Sections

Figura 26. Motores desde 70Hp hasta 150Hp



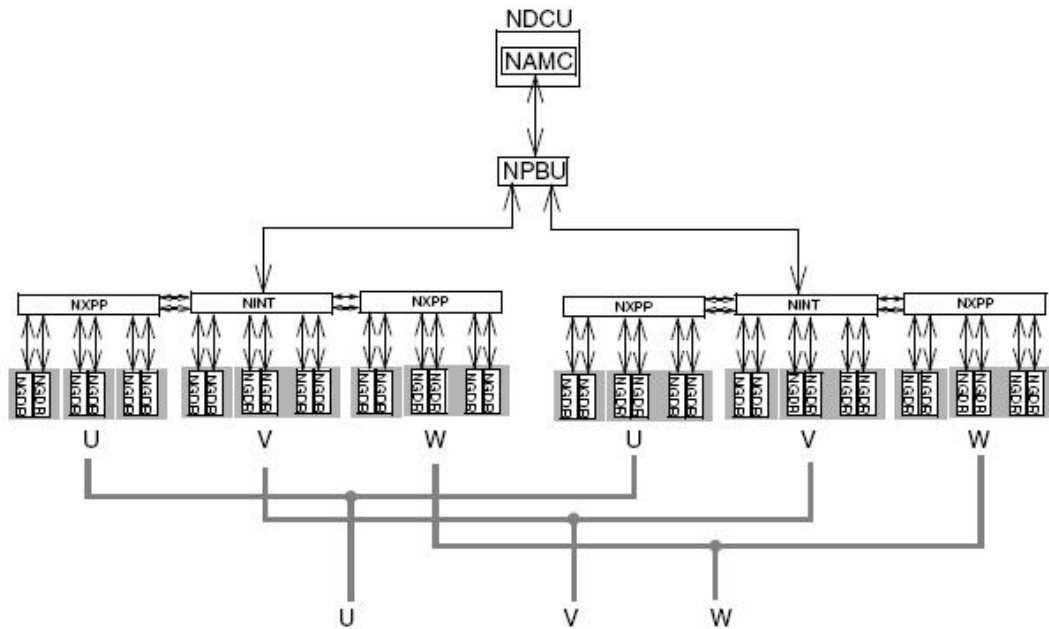
User's Manual Thyristor Supply Sections

Figura 27. Motores desde 150Hp hasta 300Hp



User's Manual Thyristor Supply Sections

Figura 28. Motores desde 300Hp en adelante



User's Manual Thyristor Supply Sections

8.3. TRANSISTORES DE COMPUERTA ABIERTA

(IGBT: INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR).

Para proveer un dispositivo con impedancia de entrada alta para aplicaciones de alto voltaje, el transistor de compuerta abierta o IGBT fue propuesto en 1980. En el IGBT, una región MOS - GATE es usada para controlar el transporte de la corriente en base ancha de alto voltaje con transistor bipolar. Esto resulta en un dispositivo con las características de alta impedancia de entrada del MOSFET combinada con la eficiencia superior de los dispositivos bipolares en la etapa de pleno funcionamiento.

La estructura de un IGBT es similar a la del MOSFET de potencia con la excepción que el sustrato P+ es usado en vez del sustrato N+. Esta similitud

estructural ha permitido una rápida comercialización del dispositivo por que el proceso de fabricación del IGBT es casi idéntico al del MOSFET. Sin embargo, su operación física es bastante diferente. En el circuito se puede observar la presencia de un tiristor entre el colector y el emisor. El switcheo de este tiristor resulta en pérdida en el control del Gate y en fallas destructivas para el IGBT. En dispositivos comerciales, el switcheo ha sido eliminado usando una variedad de técnicas tales como colocar la región P+ debajo del emisor N+ para reducir la resistencia R_p . Estos métodos apuntan a prevenir la activación del transistor NPN y así el IGBT puede operar como una base amplia PNP manejado por un MOSFET integrado.

8.4. EVALUACION DEL DRIVE.

Se llego a la conclusión que el drive ofrece ventajas muy buenas y es el adecuado para sistemas como el de la planta de esmaltado, debido a que posee un control de torque y velocidad muy estable, condición indispensable para tener una tensión constante en el papel, además son drives modulares, ya que por ejemplo cambiando la tarjeta NGDR se podría trabajar con un motor mas potente. Existe un problema en cuanto a una falla de tierra que se esta presentando en la planta pero aun no se ha podido determinar si es el drive o es la conexión en la planta como tal. Para solucionar este problema se recomienda hacer un seguimiento de todas las líneas de tierra existentes

en la máquina y enviar al fabricante los drives que han presentado este tipo de falla para que realicen un estudio y tener un reporte del mismo.

En el siguiente capítulo se utiliza un método de diseño concurrente para comenzar con la optimización del MAVATAE, y clarificar el problema teniendo en cuenta las necesidades y especificaciones dadas por el cliente que en este caso es PROPAL S.A área de esmaltados. De esta manera termina la fase de investigación y comienza el proceso de desarrollo.

9. METODO DE DISEÑO MECATRONICO

9.1. PLANTEAMIENTO DE LA MISION

Descripción Del Producto.

- Optimización del Módulo virtual de aprendizaje para capacitación de operadores de la máquina esmaltadora: A pesar que el módulo fue hecho únicamente para simular el comportamiento de la máquina esmaltadora se aclara que puede tener muchas otras aplicaciones, como por ejemplo para probar drives que estén defectuosos.

Mercado Primario.

- Grandes, medianas y pequeñas empresas con máquinas de alta tecnología.

Mercado Secundario.

- Universidades e instituciones que posean equipos de alta tecnología.

Premisas y Restricciones.

- Tener conocimientos básicos sobre control.
- Computador con mínimo 64M de memoria RAM.
- Interfaz amigable al usuario.

Partes Implicadas.

- Usuarios.
- Diseñadores.

9.2. PLANTEAMIENTO DEL CLIENTE

- “El módulo debe ser fácil de usar”.
- “El módulo debe tener una interfaz que sea lo mas amigable posible”.
- “La nueva interfaz debe tener un osciloscopio”.
- “La nueva interfaz debe tener zoom”.
- “La nueva interfaz debe tener escala variable en los ejes”.
- “El nuevo sistema de control debe ser un PI”.
- “El módulo y la nueva interfaz debe tener un manual de usuario”.
- “Se debe simular el efecto de la celda de carga en la nueva interfaz”.
- “La nueva interfaz debe tener una herramienta para simular el TIRO”.
- “Quiero que en el nuevo osciloscopio se pueda observar una coordenada determinada”.
- “No me gusta cuando un software necesita que un técnico lo instale, ya que esto incurre en costos extras”.
- “En este momento la empresa no tiene mucho dinero destinado para este proyecto”.

9.3. IDENTIFICACION DE NECESIDADES

9.3.1. Lista De Necesidades

El módulo es fácil de usar.

- ***** Los controles de la nueva interfaz son fáciles de identificar.
- *** El módulo es fácil de poner en marcha.
- **** Es fácil la identificación de posibles fallas.

La nueva interfaz podrá realizar diferentes funciones.

- *** La nueva interfaz permitirá manejar completamente todas las funciones del módulo.
- ***** La nueva interfaz podrá realizar nuevas tareas.

El módulo es de bajo costo.

- *** El software es de fácil instalación.
- *** El software es económico.
- *** El software será fácil de cargar en el PC.
- *** El software podrá ser instalado en cualquier computador.

Tabla 2. Jerarquía De Las Necesidades Del Cliente

#	NECESIDAD	IMP
1	Los controles de la interfaz son fáciles de identificar.	5
2	El módulo es fácil de poner en marcha.	3
3	Es fácil la identificación de posibles fallas.	4
4	La nueva interfaz permitirá manejar completamente todas las funciones del módulo.	3
5	La nueva interfaz podrá realizar nuevas tareas.	5
6	El software será fácil de cargar en el PC.	3
7	El software podrá ser instalado en cualquier computador	3
8	El software es de fácil instalación.	3
9	El software es económico.	3

Tabla 3. Metricas de necesidades.

#	No. NEC.	MÉTRICA	IMP.	UNIDADES
1	6,7	Tamaño del software	3	MBytes
2	3,4,5	Funciones	5	Lista
3	8,9	Costo	3	Pesos
4	1,2,3,4,6	Amigabilidad	5	Subj.

Tabla 4. RELACION MEDIDAS CON NECESIDADES

			1	2	3	4
			Tamaño del software	Funciones	Costo	Amigabilidad
			Imp			
1	Los controles de la interfaz son fáciles de identificar.	5				9
2	El módulo es fácil de poner en marcha.	3				5
3	Es fácil la identificación de posibles fallas.	4				5
4	La nueva interfaz permitirá manejar completamente todas las funciones del módulo.	3		9		5
5	La nueva interfaz podrá realizar nuevas tareas.	5	3	9		
6	El software será fácil de cargar en el PC.	3	5			5
7	El software podrá ser instalado en cualquier computador	3	9			
8	El software es de fácil instalación.	3	9		3	9
9	El software es económico.	3			9	

9.4. BENCHMARKING

Tabla 5. SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN COMPETIDORES

#	NECESIDAD	IMP	Software	
			Drives Windows	Anterior Interfaz
1	Los controles de la interfaz son fáciles de identificar.	5	•••••	••
2	El módulo es fácil de poner en marcha desde el software.	3	•••••	••
3	Es fácil la identificación de posibles fallas.	4	•••••	•
4	La interfaz maneja completamente todas las funciones del módulo.	3	•••••	•••••
5	La interfaz realiza diferentes tareas.	5	•••••	•••
6	El software es fácil de cargar en el PC.	3	•••••	•••••
7	El software puede ser instalado en cualquier computador	3	•••••	•••••
8	El software es de fácil instalación.	3	•••	•••••
9	El software es económico.	3	•	•••••

Tabla 6. EVALUAR MEDIDAS EN PRODUCTOS COMPETIDORES

#	No. NEC	MÉTRICA	IMP	UNIDADES	Drives Windows	Anterior Interfaz
1	6,7	Tamaño del software	3	MBytes	400 Mbytes	4 Mbytes
2	3,4,5	Funciones	5	Lista	Lista 1	Lista 2
3	8,9	Costo	3	Pesos	15.000.000 \$	4.000.000 \$
4	1,2,3,4, 6	Amigabilidad	5	Subj.	Buena	Regular

Lista 1:

- Detección de fallas.
- Programación en línea y fuera de línea de PLC ABB (AC 80).
- Interfaz de monitoreo con zoom, visor de coordenadas, barra de desplazamiento, monitoreo de hasta 7 variables y escala de eje variable.
- Historial de monitoreo en línea.
- Ayudas.

Lista 2:

- Información sobre el proceso.
- ayudas
- interfaz de monitoreo, barra de desplazamiento, monitoreo de 7 variables.

Tabla 7. Valores ideales y marginales.

#	MÉTRICA	UNIDADES	MARGINALES	IDEALES
1	Tamaño del software	MBytes	<15	<6
2	Funciones	Lista	<5	<3
3	Costo	Pesos	<15.000.000	<10.000.000
4	Amigabilidad	Subj.	Buena	Buena

9.5. GENERACION DE CONCEPTOS

Descomposición Del Problema:

Utilizamos el método de descomposición funcional para el dispositivo, partiendo de la caja negra y analizando el flujo de material, energía y señales, hasta obtener sistemas simples determinando cuales de las subfusiones son las más críticas para el diseño.

Figura 29. Caja Negra:

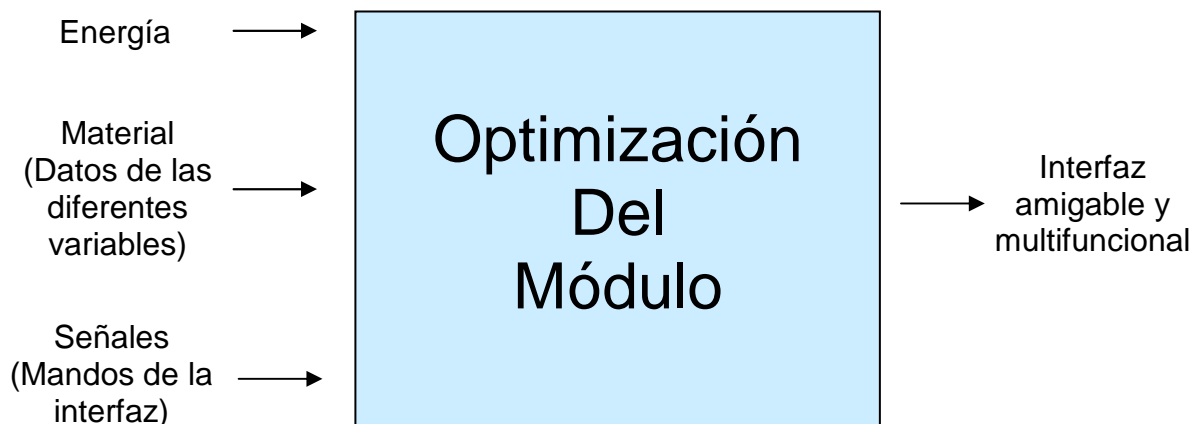
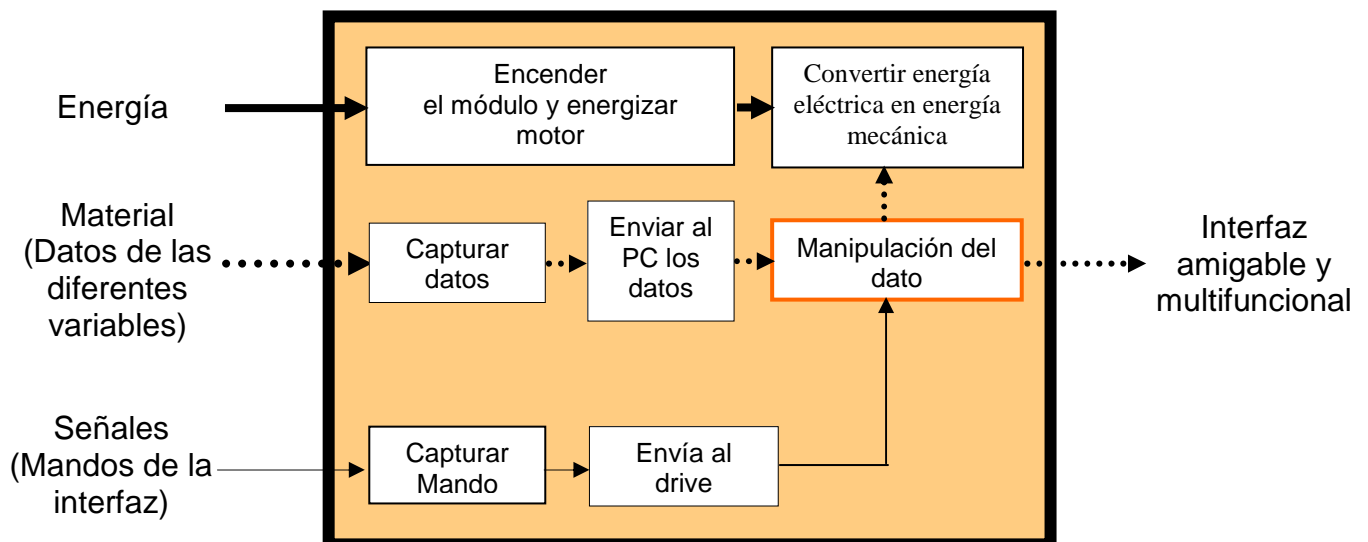


Figura 30. Descomposición funcional.



9.5.1. Búsqueda Externa: Lo primero que se hizo fue recurrir a libros especializados en entornos gráficos en Visual Basic, ya que esta fue la herramienta que se utilizó para desarrollar el software del módulo. Debido a que se tenían muy pocos conocimientos sobre la programación en este software y a que las instrucciones manejadas eran de alto nivel, el tiempo que se invirtió en esta etapa fue mucho (aproximadamente 1 mes) Luego de haber estudiado y haber aclarado dudas, en la búsqueda externa se encontraron algunos software con su respectivo código en Internet, los cuales dieron algunas ideas para iniciar el proceso de programación aplicando la ingeniería inversa. En esta etapa de entendimiento de programas encontrados en Internet se gastó 1 mes también, y para el desarrollo de la optimización como tal 20 días.

9.5.2. Búsqueda Interna: Las soluciones que arrojó la búsqueda interna mas bien fueron pocas, ya que nunca se había hecho una interfaz de tan alto nivel en cuanto a funciones y complejidad. No obstante, en cuanto a la parte de simulación de la celda de carga y la implementación de un controlador de tensión surgieron muchas ideas gracias a los conocimientos que se tenían de control, física y programación en otros lenguajes.

9.5.3. Generación de conceptos para el diseño de las subfusiones críticas:

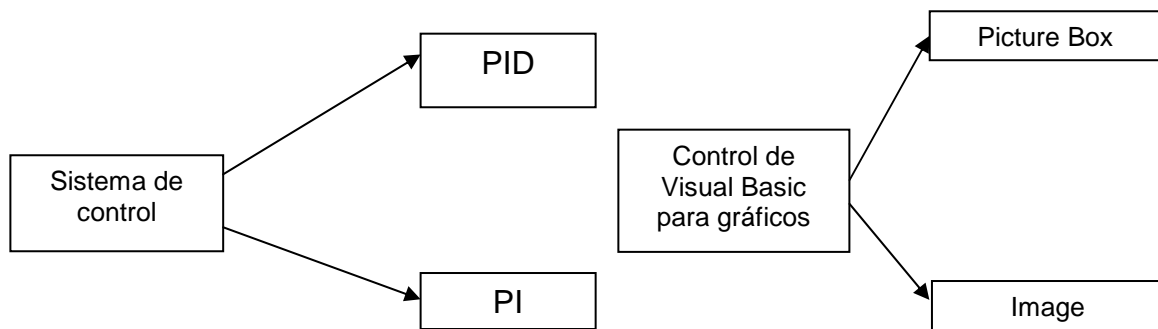
- “Encender el módulo y energizar motor”, “Convertir energía eléctrica en energía mecánica”: estas dos subfunciones ya están hechas en el módulo y las partes que las conforman son: Motor ABB de 6,4 Kw, drive compuesto por Unidad de Control o NDCU e inversor ACS 600.
- Las subfunciones “Capturar datos”, “Enviar al PC los datos”, “Capturar Mando” y “Enviar al drive” están implementadas mediante un OPC Server de Matrikon especial para equipos ABB que se comunican por medio de fibra óptica.
- El trabajo se centra más en la parte del osciloscopio y del sistema de simulación y control de la tensión y la celda de carga, los cuales se pueden incluir dentro de la subfunción **“Manipulación del dato”**, ya que en esta etapa solo es necesario un dato de la variable medida para graficarlo y si dicha variable es “tensión” usarlo para controlar la tensión. Para el sistema de control existían dos opciones, un PI o un PID, y para la simulación de la celda de carga, después de analizar el funcionamiento de la máquina, se llegó a la conclusión que la variable tensión no es una variable física como tal, que se pueda manipular directamente, si no que al variar la velocidad de los motores esta se puede controlar. Así que con solo monitorear constantemente el controlador de tensión se podía simular la celda de carga. Por otro lado, para

la parte del osciloscopio se encontró que en el anterior software hacían falta funciones como el zoom, escala variable en los ejes, puntero que informara la coordenada deseada, tiempo de muestreo variable y un sistema de perturbación de tensión mas aproximado a la realidad. Para graficar en Visual Basic existen dos controles: el Picture Box y el Image.

9.6. EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA:

9.6.1. Árbol De Clasificación De Conceptos: De los anteriores conceptos generados para la subfusión crítica mas importante con la cual vamos a trabajar **(Manipulación del dato)**, llevamos a cabo el árbol de clasificación, para identificar las diferentes aproximaciones al problema: De esta forma resultaron dos campos en los cuales se podía hacer un método de diseño apropiado, y estos fueron:

Figura 31. Árbol de conceptos



Debido a que una de las especificaciones del cliente era que se debía realizar un control **PI** entonces al combinar los conceptos solamente quedaron 2 opciones para resolver el problema de la cual se seleccionó la combinación mas viable:

Control (PI) - gráficos (Picture box)

se descarto el control Image debido a que para graficar las variables deseadas necesitamos dar una a escala a los ejes lo cual no se puede hacer con dicho control, de la misma manera se requiere usar imágenes tipo Picture o mapa de bits que no son soportadas por el control.

Tabla 8.Especificaciones Técnicas Finales

#	MÉTRICA	VALORES
1	Tamaño del software	5 Mbytes
2	Funciones	lista
3	Costo	3.000.000 \$
4	Amigabilidad	buena

Lista:

- Información sobre el proceso.
- ayudas

- interfaz de monitoreo, barra de desplazamiento, monitoreo de 7 variables, **zoom, escala de ejes variable, simulador de control PI de tensión y simulador de tiro.**

9.7.PRUEBA DE CONCEPTOS

Básicamente la prueba de conceptos se realizara para saber si el concepto seleccionado cumple con los requerimientos del cliente y confirmar la viabilidad del mismo, además para resumir la información recopilada sobre la aceptación y acogida que pueda tener nuestro producto ante los posibles usuarios.

Población a encuestar:

La población a encuestar serán los operadores y todas aquellas personas interesadas en el aprendizaje del funcionamiento de la máquina esmaltadora.

Forma de encuesta.

Entrevistas personales a los interesados.

Comunicación del concepto:

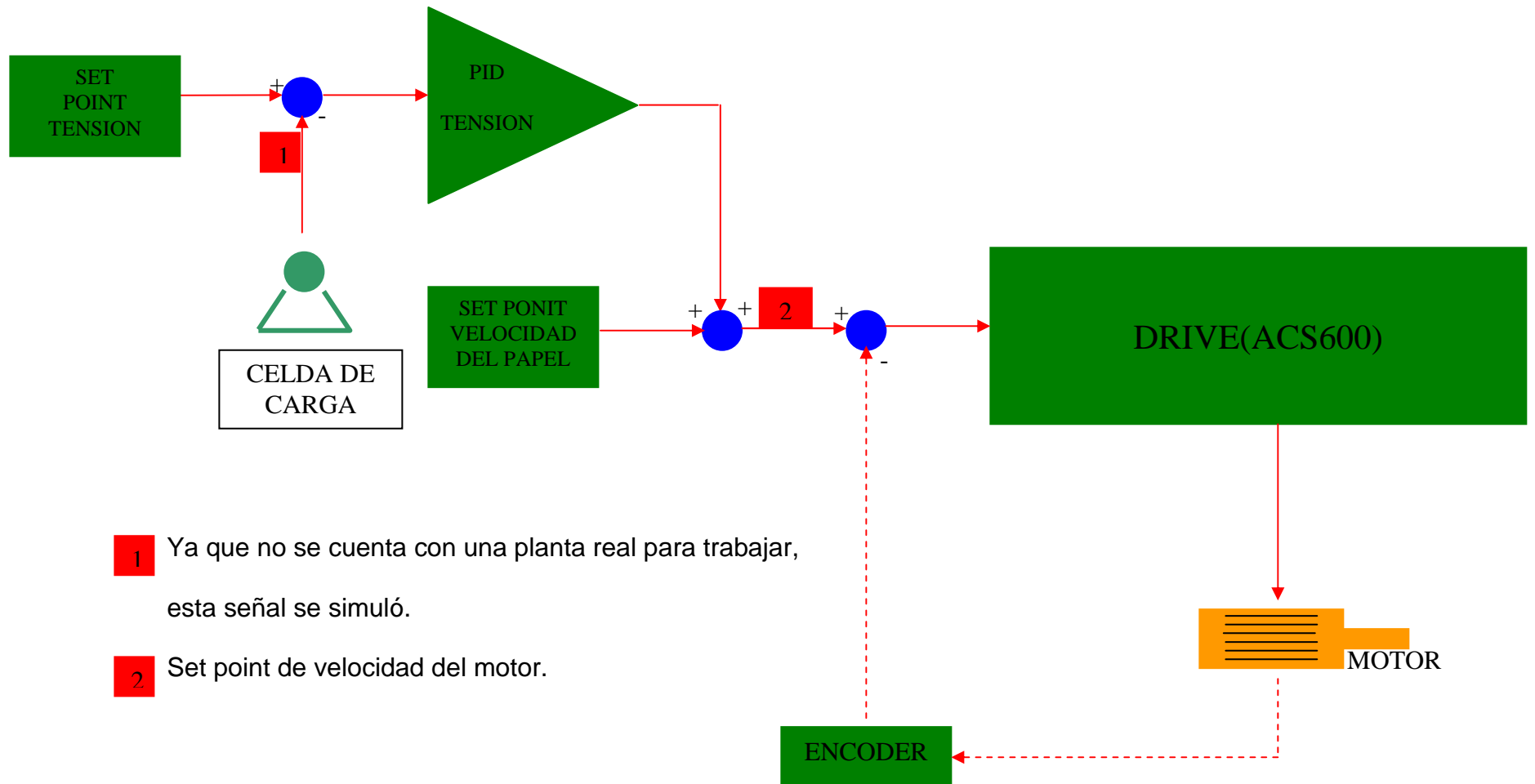
Se realiza un capacitación en el manejo del software y se recopilan datos de acuerdo a la opinión del personal capacitado.

9.8.DISEÑO DETALLADO.

Ver Anexos.

10. DESCRIPCION E IMPLEMENTACION DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL

Figura 32 .Lazo de control de un motor.



En la figura 32 se puede apreciar claramente el lazo de control, el trabajo que se desarrollo consistió en simular la primera parte, que es la de la tensión y luego se tenía que sumar la salida de ese controlador a la referencia de velocidad de papel, donde la suma de estos dos valores daba la referencia de velocidad del motor que en luego se convierte en la entrada del ACS 600, como veremos en la grafica siguiente existe un parámetro llamado SPEED CORRECTION(23.04) o en español CORRECCION DE VELOCIDAD, el cual es la salida del controlador de tensión. Para simular la parte de la tensión se hizo uso de una función de transferencia de un motor DC la cual se encargo de hacer el papel de “planta de tensión” con su respectiva celda de carga. El porque de implementar una función de transferencia de un motor DC radica en que el cambio de tensión de papel se traduce en última instancia en cambio de velocidad de los motores.

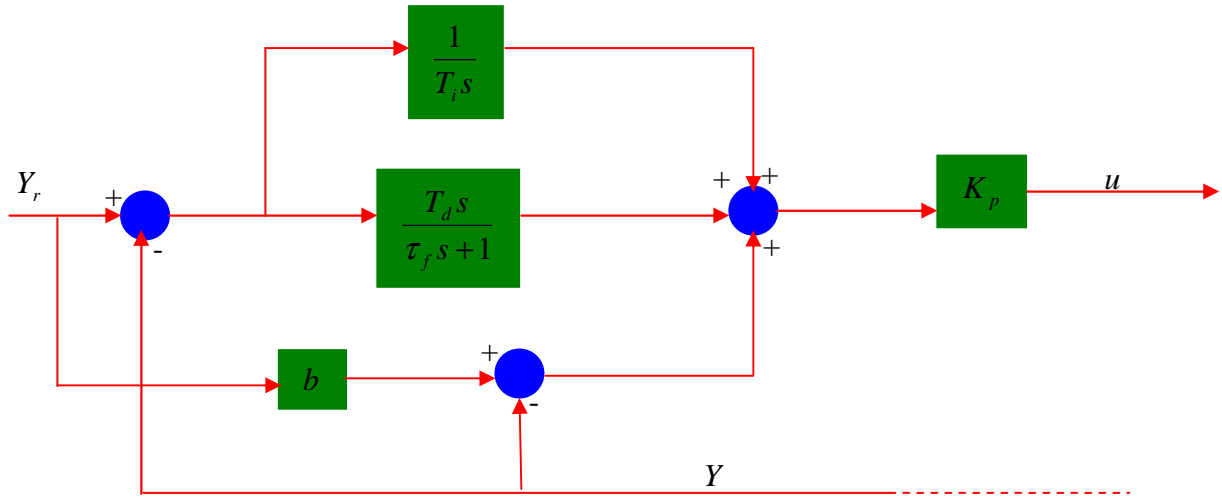
10.1. LAZO DE CONTROL PID DEL ACS 600.

El controlador de velocidad se basa en el algoritmo de control PID, el cual se presenta a continuación en el tiempo continuo:

$$u(s) = KPs \left[(bY_r(s) - Y(s)) + \left(\frac{1}{sTIs} + \frac{T_d s}{\tau_f s + 1} \right) e(s) \right] \quad (5 - 1)$$

La salida del controlador es u , e es el error de velocidad.

Figura 33 . Lazo de Control PID



Según la figura 33, Y es la señal medida, Y_r es el set point, y u es la señal de control. Como se puede observar este PID contiene una pequeña variación del controlador tradicional, ya que al set point se le da un peso multiplicándolo por una constante $b < 1$. Este método se conoce como set point weighting, y solo afecta el término P. Aunque de esta manera en estado estacionario el término P no es cero, el controlador no se ve afectado ya que

el término integral compensa ese error causado por dicha situación. Pero la verdadera ventaja de este método es que cuando se producen cambios en el set point el sobre impulso puede reducirse entre mas pequeño sea el valor de la constante b. De la misma manera se comportaría ante las perturbaciones. Como ya se sabe este control se puede hacer con sensor o sin sensor. La precisión que ofrece el ACS600 se da a continuación:

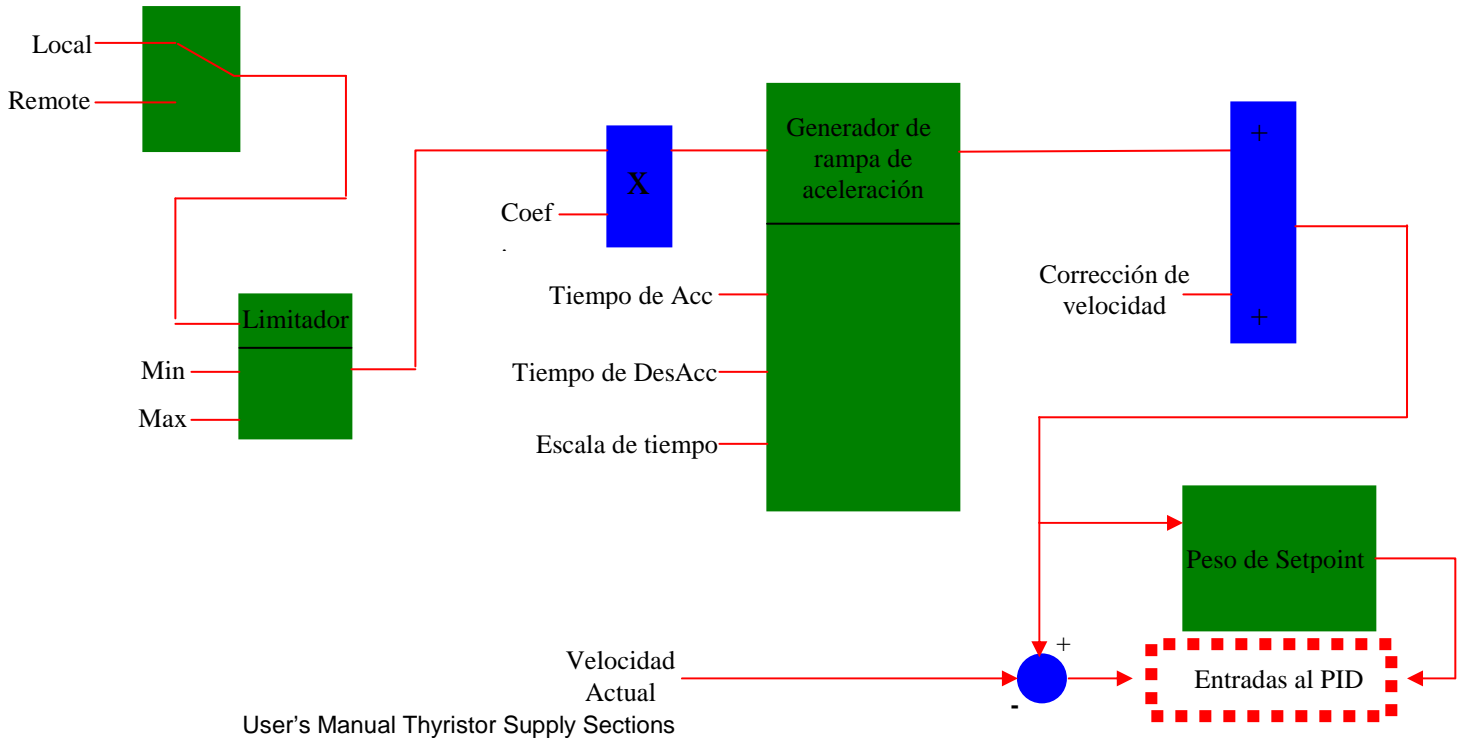
Tabla 9 . Precisión del control de velocidad

Estado del Control de Velocidad	ACS 600 Sin Sensor	ACS 600 Con Sensor
Error en estado estacionario	$\pm 0.1 \%$ a $\pm 0.5 \%$	$\pm 0.01 \%$
Error en el estado transitorio	$\pm 0.4 \% \text{ segundos}$	$\pm 0.1 \% \text{ segundos}$

User's Manual Thyristor Supply Sections

10.2. LAZO PARA FIJAR LA REFERENCIA DE VELOCIDAD DEL PAPEL PARA EL LAZO DE CONTROL DEL DRIVE.

Figura 34. Captura del setpoint.



Como se puede observar en la figura anterior, inicialmente se debe escoger la forma de fijar el setpoint, en modo local se hace desde la estación de ingeniería y en modo remoto se hace desde el cuarto de control, la diferencia entre estos dos lugares radica en que en la estación de ingeniería se encuentra el PC que contiene toda información sobre el estado de los drives, así como también podemos acceder a la programación de cada uno y solo desde ahí se puede manipular cada drive por separado, mientras que en el

cuarto de control solo se puede hacer el monitoreo de las señales. Luego que se ha fijado la referencia pasa al limitador el cual esta programado con parámetros máximos y mínimos los cuales son ya predeterminados dependiendo del gramaje del papel, acto seguido se multiplica por un coeficiente el cual esta entre 0% y 100%, esto es para cuando se esta haciendo el enhebrado del papel donde la velocidad es del 70% de la velocidad de esmaltado. Después sigue la rampa de aceleración y la salida de esta pasa a un sumador el cual se encarga de compensar cambios de tensiones, debido a esto es que velocidad de esmaltado o de papel no es lo mismo que velocidad del motor.

10.3. IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR DC Y DISEÑO DEL CONTROLADOR.

Características del Motor:

- Voltaje de Alimentación 110V DC.
- Corriente 6 Amp.
- Potencia 1/3 de HP.
- Velocidad 0 – 1800 RPM

Pasos a Realizar:

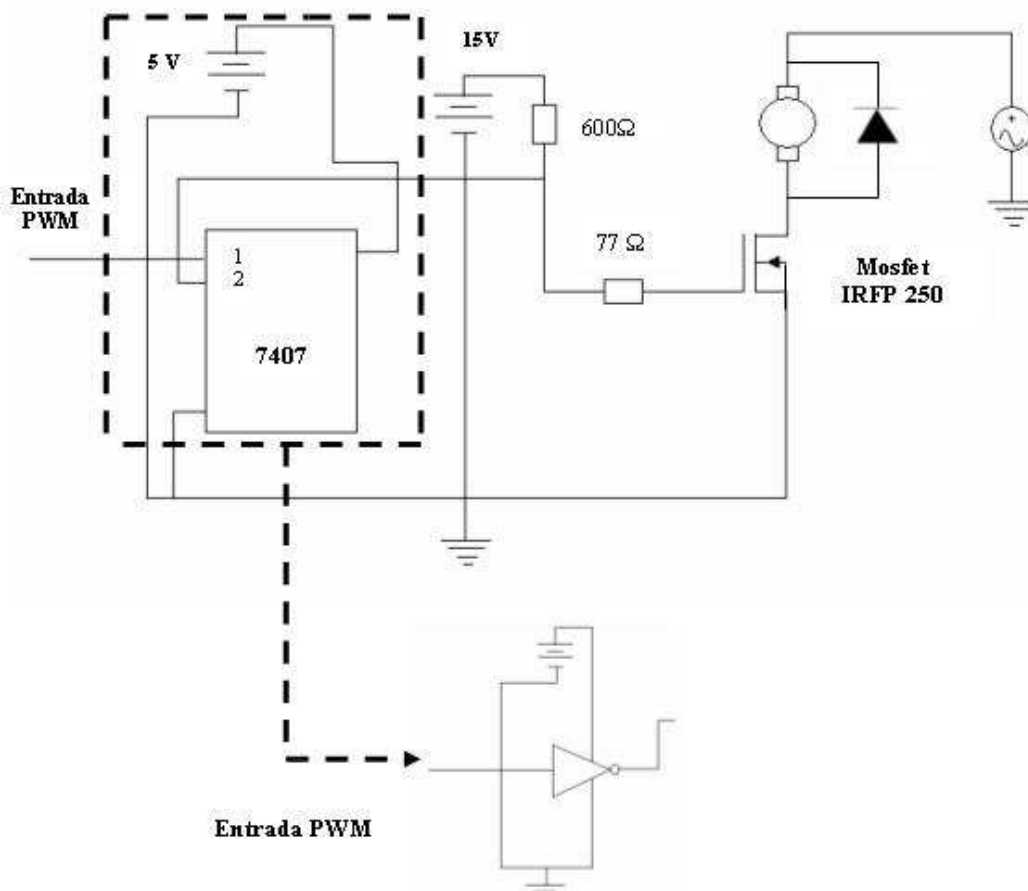
- Acondicionamiento total de la planta
 - Realización del circuito de potencia para el motor.
 - Realización del programa en el microprocesador para la generación del PWM.
 - Escoger el sensor a utilizar.
 - Circuito de acondicionamiento del sensor.
- Identificación de la planta (Obtención de la función de transferencia).
- Escoger el método para la realización del controlador.
- Desarrollo matemático para obtener el controlador en tiempo discreto.
- Implementación del control digital en tiempo real

10.3.1.Implementación de la Etapa de Potencia: Esta parte se implemento para poder acoplar las señales a los niveles de tensión y corriente necesarios para el funcionamiento del motor (voltaje 120 y corriente 5A), a partir de un

PWM (Modulación por Ancho de Pulso) el cual será generado desde un microprocesador.

El circuito a utilizar es el siguiente:

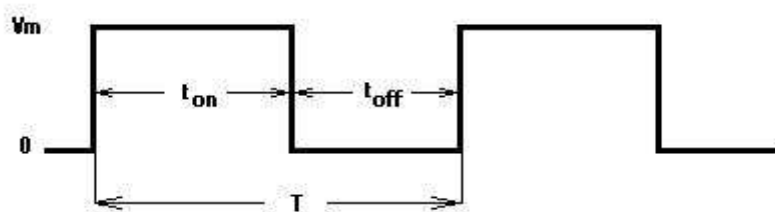
Figura 35. Etapa de potencia para identificación.



Como podemos ver el circuito posee una entrada que es por la cual el PWM que viene del microprocesador entra al circuito para con este hacer switchear al mosfet y hacer que el motor el cual se encuentra por uno de sus lados

conectado directamente vea tierra por su otro extremo y así entre a funcionar, como el PWM proveniente del microprocesador viene con un voltaje de 5V como máximo y el mosfet utilizado necesita en su base 15V para entrar a conducir, se utilizo una compuerta negadora con colector abierto para así lograr elevar el voltaje del PWM de 5V a 15V. (Ver figura 36).

Figura 36. PWM.



De esta manera se logra que el mosfet conduzca o no conduzca dependiendo directamente de la señal del PWM, el mosfet conducirá cuando el PWM este en Ton y no conducirá en el tiempo que el PWM este en Toff.

Además de esto el circuito posee dos entradas por las cuales entran los 120 V a los cuales funciona el motor y dos salidas por las cuales salen los 120 Voltios (controlados) después del mosfet. Además de las entradas de 5V y de 15V.

10.3.2. Identificación de la planta: El PWM se generará internamente en el microcontrolador PIC 16F874. El PWM o Modulación por ancho de pulso se utiliza para controlar la velocidad del motor haciendo switchear un mosfet u otro transistor conectando el PWM a la pata de base en el caso nuestro un mosfet ya que el motor a controlar maneja un voltaje y una corriente alta. El método de modulación por ancho de pulso está basado en la obtención de un voltaje DC variable a partir de una onda rectangular de frecuencia constante y ciclo útil variable.

La entrada al conversor análogo digital del PIC de 0V – 5V la cual me determina o genera el PWM, será la señal a controlar, para la identificación, esta señal provendrá de la tarjeta de adquisición de datos de la National Instrument .

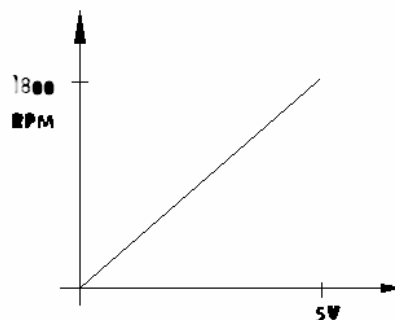
El sensor utilizado para obtener el lazo cerrado fue un encoder angular el cual posee las siguientes características:

- Voltaje de Alimentación 5V.
- Resolución de 360 pulsos por vuelta.
- Salida INDEX genera 1 pulso por vuelta.
- Revoluciones máximas aplicadas 5000.
- Generación de pulsos de 0 – 5V.

- 2 Canales de Trabajo (Canal A – Canal B) desfasados 90 grados entre ellos.

Para podernos comunicar con el software ISYS mediante la tarjeta de adquisición de datos se necesito de la realización de un circuito de instrumentación para el sensor de manera tal que cuando el motor girara a su máxima velocidad (1800 RPM) y el sensor me arrojara determinado numero de pulsos el voltaje arrojado fuera de 5V, cuando el motor girara a la mitad de su velocidad (900 RPM) el voltaje de salida fueran 2.5V y cuando el motor no girara el voltaje fuera 0V, en otras palabras se necesitaba de una respuesta lineal (ver Figura 37) de la velocidad del motor versus voltaje de salida del circuito de instrumentación (Este voltaje de salida es el voltaje que entra al software ISYS por medio de la tarjeta de adquisición, voltaje de realimentación para le generación del error), de esta manera:

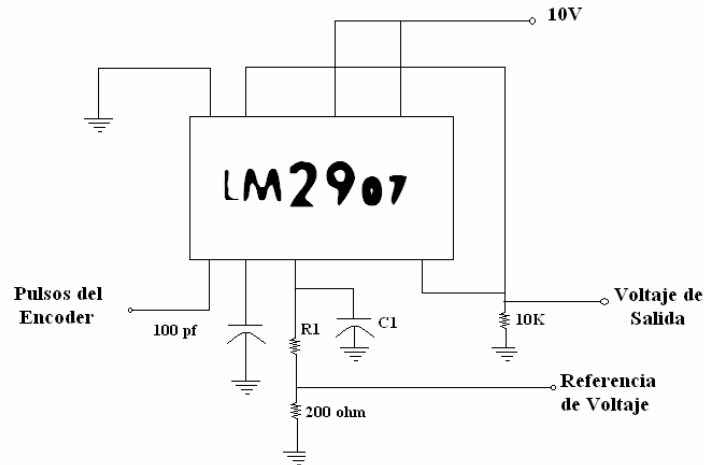
Figura 37. Linealizacion



Para lograr esto se realizo el montaje de un conversor frecuencia voltaje

LM2907:

Figura 38. LM2907



Donde R1 y C1 me determinan el voltaje de salida para la frecuencia de entrada (frecuencia de los pulsos dados por el encoder).

La formula es la siguiente:

$$V_{sal} = V_{cc} * f_{in} * C1 * R1 * K \quad (5 - 2)$$

Donde K es una constante de ganancia y en este caso es $K = 1$

V_{sal} = Voltaje de Salida.

V_{cc} = Voltaje de Alimentación = 10V

f_{in} = Frecuencia de entrada = 10800Hz

Resolviendo la ecuación y suponiendo el valor del condensador de 47 μf el valor de la resistencia es de 987 Ω , para lo cual utilizaremos una resistencia de 1K Ω .

Ya teniendo todo el sistema acondicionado procedemos a la identificación de la planta, para obtener la función de transferencia del motor y de esta manera realizar el controlador para la planta.

Para identificar la función de transferencia de la planta, utilizamos el programa /sys. Este programa brinda la posibilidad de adquirir muestras de la respuesta del sistema, en este caso la planta MOTOR DC, cuando se le aplica una entrada o voltaje, conociendo así la relación de entrada y salida para con la que se puede hacer un modelo de la función de transferencia. Sacando un total de 3000 muestras identificamos nuestra planta, la respuesta ante las muestras tomadas fue la siguiente:

Figura 39. Identificación en ISYS.

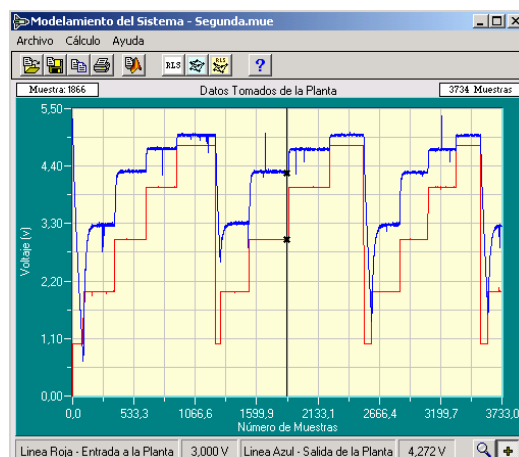


Figura 40.Función de Transferencia del Motor

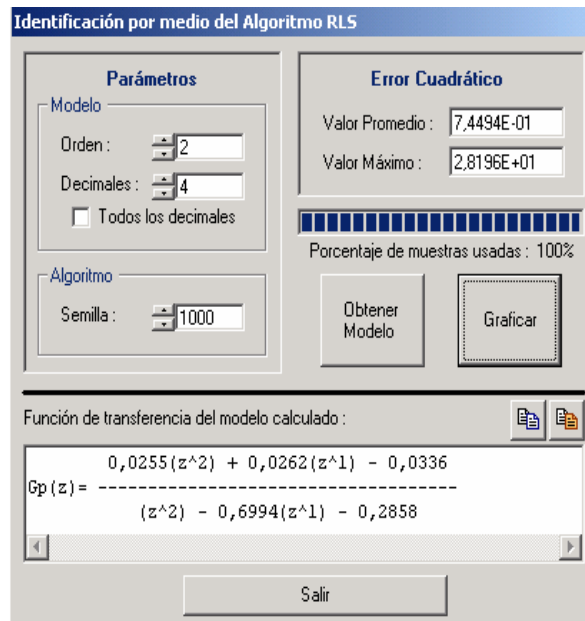
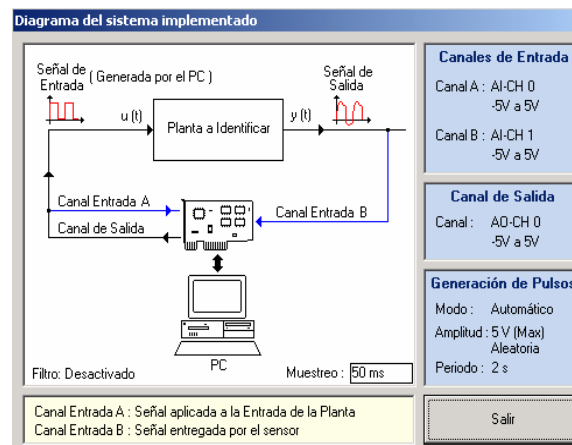


Figura 41.Esquema de Conexión al ISYS



Entrada: es la señal que entra al microprocesador para la generación del PWM.

Salida: Es la señal arrojada por el sensor.

10.3.3. Diseño del controlador: Teniendo en cuenta nuestra función de transferencia del sistema:

$$G_p(z) = \frac{0,0255(z^2) + 0,0262(z^1) - 0,0336}{(z^2) - 0,6994(z^1) - 0,2858} \quad (5 - 3)$$

Procedimos a analizar el comportamiento de la planta en lazo abierto:

Figura 42. Funcion de transferencia del motor en lazo abierto.

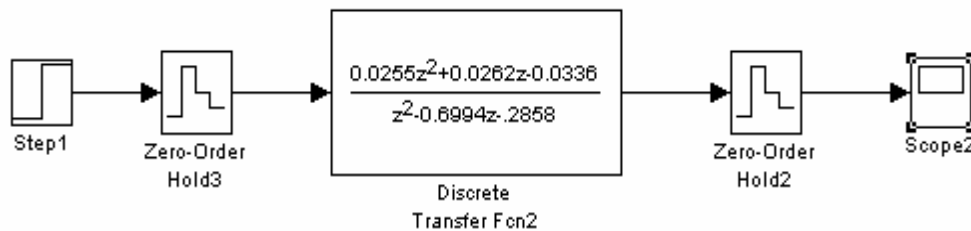
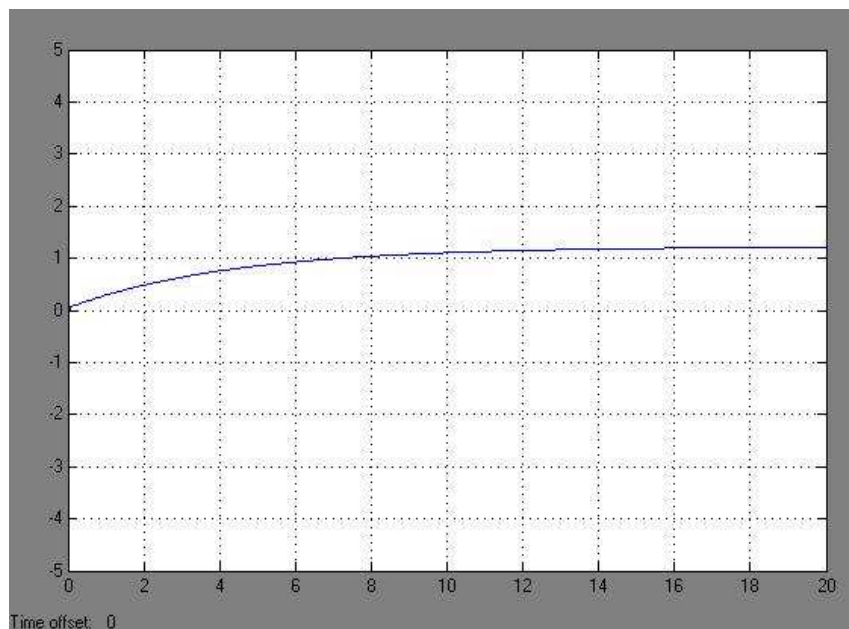


Figura 43. Respuesta en lazo abierto.



Después de haber monitoreado la planta esmaltadora se observó que su tiempo de estabilización es de aproximadamente 25 segundos y el sobre pico de tensión es del 10%. Con estos datos se puede iniciar el diseño del controlador. La planta en el tiempo continuo es igual a:

$$G(s) = \frac{-0.02479s^2 + 3.417s + 20.93}{s^2 + 74.35s + 51.81} \quad (5 - 4)$$

Hallando la planta con controlador:

$$Tis(s^2 + 74.35s + 51.81) + (KpTis + Kp)(-0.02479s^2 + 3.417s + 20.93) = 0 \quad (5 - 5)$$

$$Tis^3 + 74.35Tis^2 + 51.81Tis - 0.02479KpTis^3 + 3.417KpTis^2 + 20.93KpTis - 0.02479Kps^2 + 3.417Kps + 20.93KKp = 0$$

$$(1 - 0.02479Kp)Tis^3 + (74.35Ti + 3.417KpTi - 0.02479Kp)s^2 + (51.81Ti + 20.93KpTi + 3.417Kp)s + 20.93Kp = 0$$

$$s^3 + \left(\frac{74.35Ti + 3.417KpTi - 0.02479Kp}{Ti - 0.02479KpTi} \right) s^2 + \left(\frac{51.81Ti + 20.93KpTi + 3.417Kp}{Ti - 0.02479KpTi} \right) s + \frac{20.93Kp}{Ti - 0.02479Ti} = 0$$

Hallando la deseada:

$$Ts = 25 \text{seg}$$

$$Mp = 10\%$$

$$Mp = e^{-\frac{\partial \Pi}{\sqrt{1-\partial^2}}} \quad (5-6)$$

$$0.1 = e^{-\frac{\partial \Pi}{\sqrt{1-\partial^2}}}$$

$$\partial = 0.5911$$

$$Ts = \frac{5}{\partial Wn} \quad (5-7)$$

$$25 = \frac{5}{0.5911 Wn}$$

$$Wn = 2.9555$$

Deseada :

$$s^2 + 2(0.5911)(2.9555)s + (2.9555)^2 = 0 \quad (5-8)$$

$$s^2 + 3.4930s + 8.7340 = 0$$

$$(s+17)(s^2 + 3.4930s + 8.7340) = 0$$

$$s^3 + 20.4930s^2 + 68.1150s + 148.4780 = 0$$

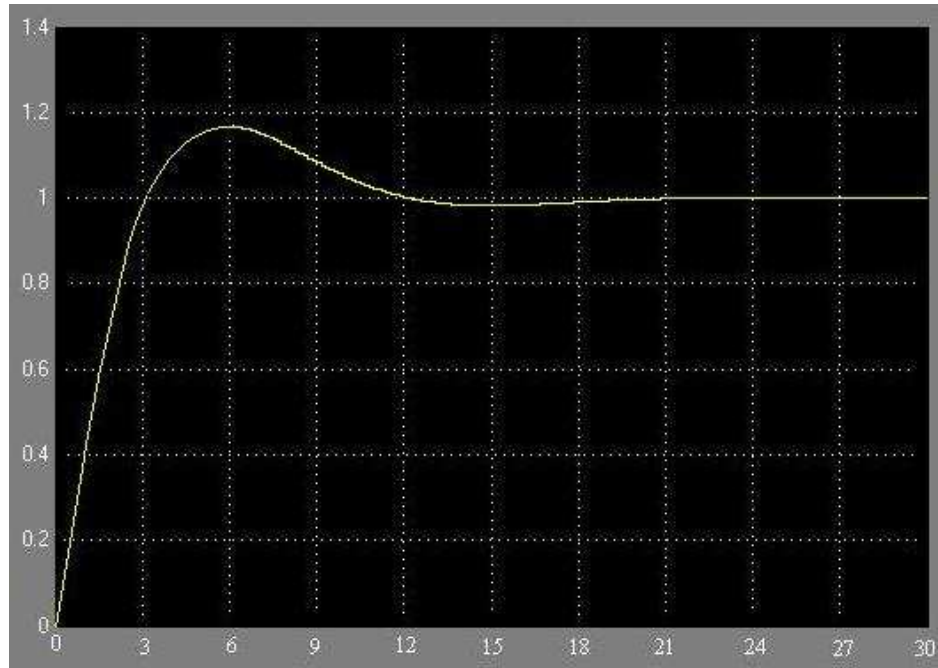
Si igualamos las dos ecuaciones:

$$Ti = 0.1687$$

$$Kp = 6.8896$$

La respuesta del sistema con controlador es:

Figura 44. Respuesta de la planta con controlador



10.4. COMPARACION DE OSCILOSCOPIOS.

Figura 45.Osciloscopio Anterior



Figura 46.Osciloscopio Actual

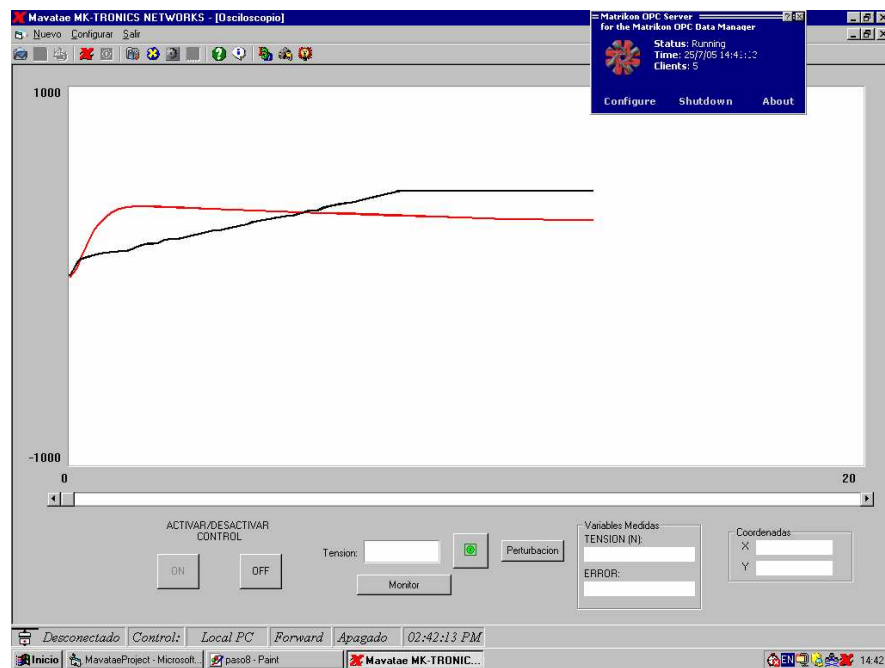


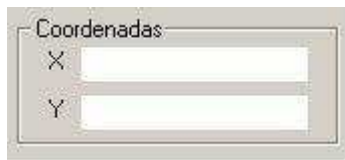
Tabla 10. Tabla de Comparación de Osciloscopios

Característica	Nuevo	Anterior
Barra de desplazamiento	✓	✓
Monitoreo de varias variables	✓	✓
Simulación de perturbación	✓	✓
Escala variables de ejes	✓	No
Zoom	✓	No
Visor de coordenadas	✓	No
Visualización de 3 motores	✓	No

Figura 47. Ventana de Variación escalas

The image shows a software window titled "Form2" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window has a light gray background. Inside, there are five input fields arranged vertically, each with a label to its left: "Xmin", "Ymin", "Xmax", "Ymax", and "Pm". Each input field is a white rectangle with a thin gray border. At the bottom right of the window, there is a button labeled "Cargar parametros".

Figura 48. Visor de coordenadas



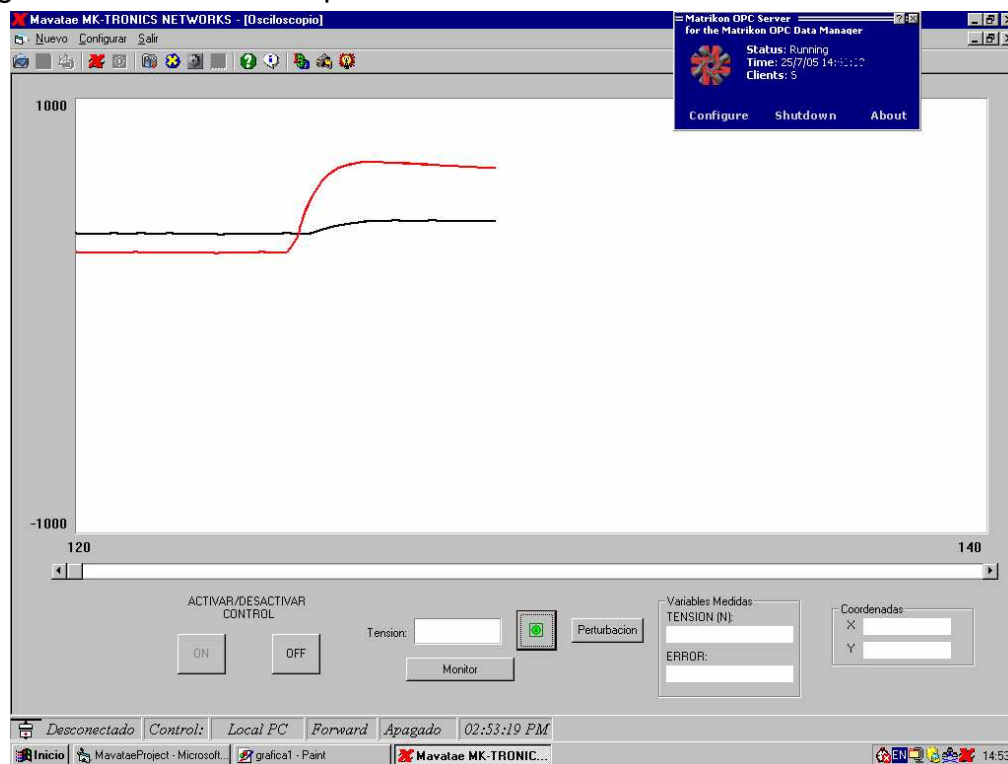
Coordenadas

X

Y

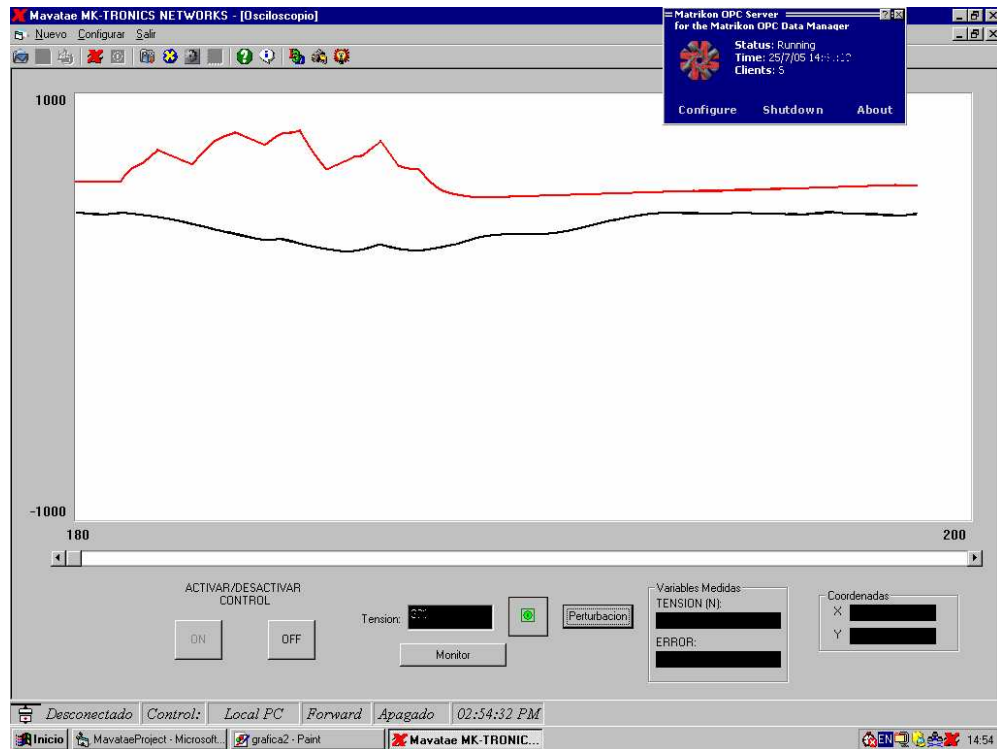
10.5. MONITOREO DE SEÑALES Y PRUEBA DE RESULTADOS.

Figura 49. Grafica de respuesta de la velocidad ante cambios de tension.



La señal roja es la tensión y la roja es la velocidad, como se puede observar cuando la tensión aumento el motor compenso ese cambio para garantizar la tensión por medio del aumento de la velocidad. Como las dos señales son directamente proporcionales se puede afirmar que el control se esta haciendo en adelante.

Figura 50. Respuesta del control ante perturbaciones.



En la gráfica anterior se puede observar que cuando hubo una perturbación, tanto la tensión del papel y la velocidad del motor se vieron afectadas, pero gracias a la realimentación y al controlador esta perturbación se pudo rechazar. A continuación se puede observar un acercamiento por medio del zoom para observar mejor la perturbación.

Figura 51. Demostración del funcionamiento del zoom.

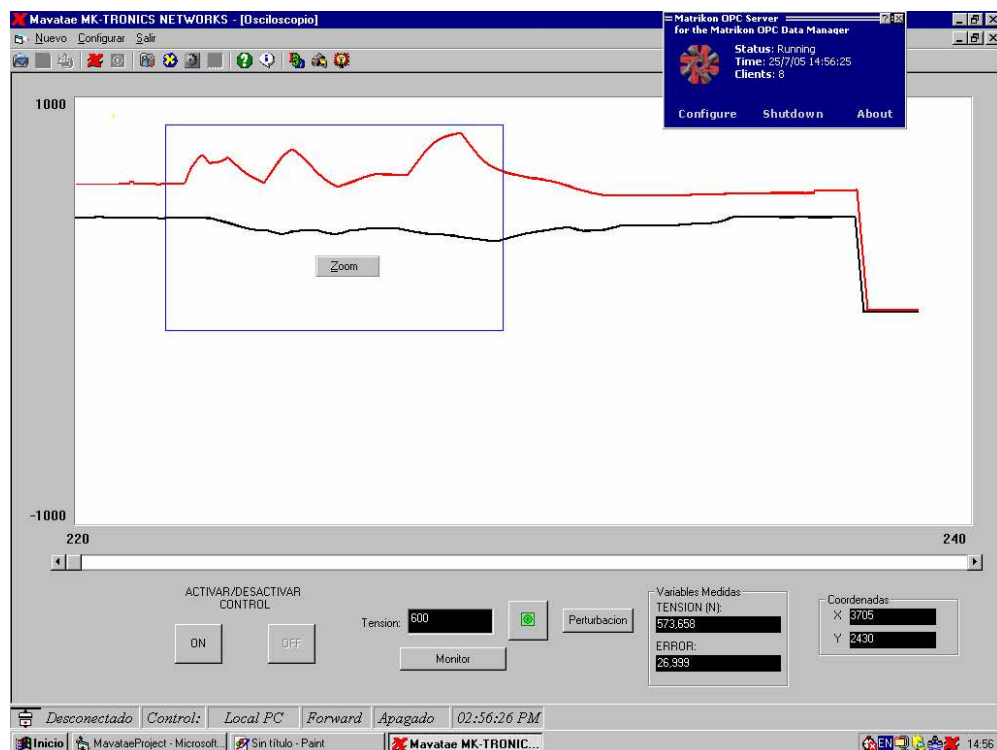
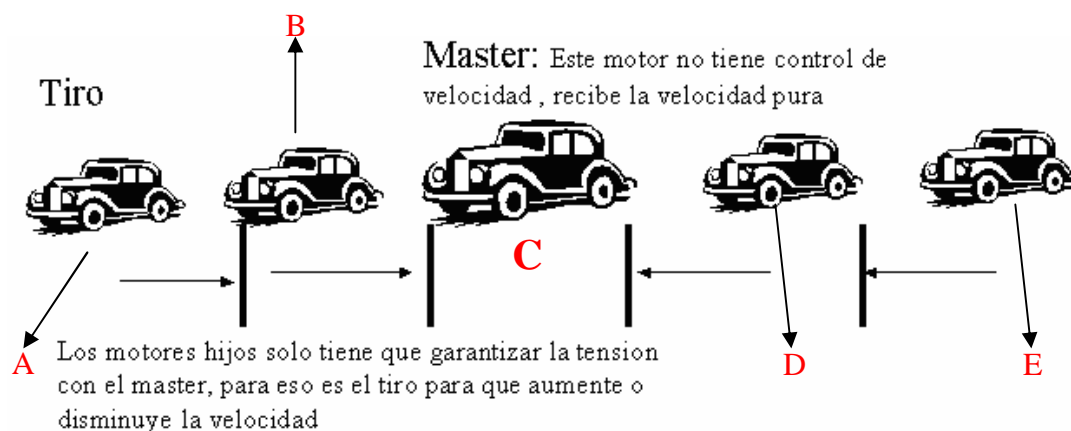


Figura 52. Visualización 3 motores.



En la figura anterior se puede visualizar como el software permite simular el comportamiento de 3 motores, mediante la programación del tiro, el cual es una característica que consiste en que la velocidad de cada motor que se encuentre ubicado adelante del motor Master se va a incrementar en el valor que se ha digitado en el campo de texto del tiro y por el contrario los motores que están atrás del Master van a disminuir su velocidad.

Figura 53. Tiro.



Si se programa un set point de velocidad de 300 RPM para el master, y un tiro de 50 RPM, el motor D tendrá una velocidad de 350 RPM, el E de 400 RPM, mientras que el B tendrá una velocidad de 250RPM y el A de 200 RPM, es decir, a medida que los motores se encuentran mas adelante con respecto al master van incrementando su velocidad sucesivamente en el valor que tenga el tiro en el momento, los motores que estén atrás disminuirán su velocidad de la misma forma.

11. CONCLUSIONES

- A través del desarrollo del módulo de aprendizaje virtual se puede orientar de una manera clara y sencilla a los operarios de la máquina esmaltadora, sobre todos los factores que interactúan con la misma, ocasionando un beneficio directo en la producción de papel.
- Mediante la recreación virtual de situaciones reales, se pueden mejorar la capacidad de entendimiento de los instrumentos a manipular por parte de los operarios, disminuyendo así los riesgos de accidentes por parte del personal humano.
- Mediante la ejecución de este proyecto, se obtuvo una visión más realista de las necesidades que existen en el medio, fomentando nuestra capacidad de plantear soluciones a dichos problemas en beneficio de la comunidad.
- El formato IFAC es un artículo que extrae lo más importante de este proyecto, por lo cual se convierte en una excelente herramienta para el entendimiento previo al uso como tal del módulo virtual de aprendizaje.

- Mediante la implementación del controlador PID se obtuvo una mayor aproximación al comportamiento real de la planta.
- En el presente trabajo se explico de una manera clara las diferentes fases del proceso, abstrayendo así lo mas relevante del mismo.
- Mediante la simulación de la celda de carga se pudo llegar a una importante conclusión la cual es que la tensión no es en si una variable física como tal que se controla, si no que debido a cambios de velocidad en los motores esta se puede controlar.
- La importancia del modelo virtual de los tres motores radica en que es una buena herramienta para el entendimiento del concepto del TIRO.
- La nueva interfaz que se desarrollo es más amigable que la anterior debido a que los principales controles se encuentran todos en la misma ventana.

12. RECOMENDACIONES

- Debido a que no se tenía un manual de usuario del software que se iba a mejorar, se presentaron dificultades en cuanto al manejo del mismo.
- Ya que el trabajo consistía en una optimización de un software, se invirtió mucho tiempo leyendo y entendiendo la programación en visual basic.
- Ya que los ingenieros se encontraban realizando actividades de suma importancia, al principio no se tuvo un trabajo en conjunto con ellos, lo cual se tradujo en un avance lento en el desarrollo de las actividades descritas en el cronograma de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ABB INDUSTRY OY DRIVES. Reference Manual PC Elements Advant Controller 80. Helsinki: ABB industry, 2000. 85 p.

ABB INDUSTRY OY DRIVES. User's Manual Thyristor Supply Sections 16 to 6500 KW. Helsinki: ABB industry, 1999. 90 p.

ABB INDUSTRY OY DRIVES, Firmware Manual System Application Program 5.2. Helsinki: ABB industry, 2000. 88 p .

ABB INDUSTRY OY DRIVES. User's Manual Advant Controller 80. Helsinki: ABB industry, 2000. 92 p.

Demos del OPCServer. [en linea]. Houston: Matrikon Inc, 2006. [Consultado Junio 10 de 2005]. Disponible en Internet: www.matrikon.com.

Ejemplos de programación grafica en Visual Basic. [en linea]. Buenos Aires: Guillermo Ortelli, 1999. [Consultado 17 de Julio de 2005]. Disponible en Internet: www.elquille.com.

GOPAI, Dubey. Power Semiconductor Controlled Drives. New Jersey: Prentice Hall, 1982. 150 p.

WOODS, Robert L; LAWRENCE, Kent L. Modeling and Simulation of Dynamic Systems. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 180 p.

ANEXOS

1. MANUAL DE OPERACIONY MANTENIMIENTO

LISTA DE ITEMS O COMPONENTES:

- Diode Supply Section. ACA 607. Diagrama #1, Plano #1.
- ACS 600. ACN63400095. Diagrama #1, Plano #2.
- NDCU 210C. Diagrama #1.
- Fuente de alimentación. ABBSD812N1. Diagrama #1.
- Breaker. ABBS252. Diagrama #1.
- Breaker. Merlin Gerin, Multi 9. C60N. Diagrama #1.
- Contactor Siemens. 3TH8031 – 0A. Diagrama #1.
- Fusible Siemens. 3NP409 – OCBOO. 160A – 660V. Diagrama #1.
- Motor trifasico. 6,4KW. Diagrama #1. Plano #3.
- Computador Hewlett Packard. Net Server E200. Diagrama #1.

1.1. OPERACIÓN.

Para la utilización del “**Módulo De Aprendizaje Para El Análisis De La Tensión En El Papel**”, es indispensable seguir los siguientes puntos básicos en su respectivo orden para su óptimo funcionamiento:

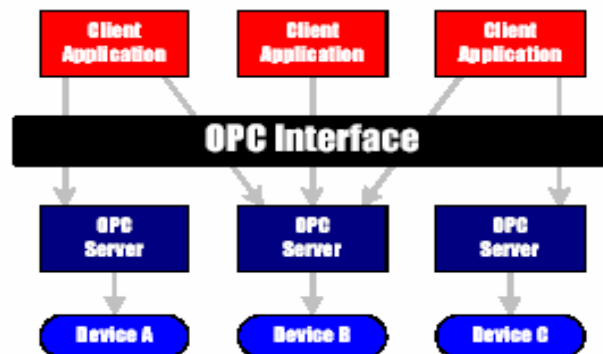
Lo primero es abrir el software de Matrikon y Conectarse al Opc Server, este aparece con el titulo de “ Matrikon OPC ” .

Este método fue creado para procesos de control mediante tecnología “OLE” ó “COM” conocida como “Common Object Model” (OLE for Process Control – OPC). Este sistema permite la comunicación y el manejo de las variables entre un cliente y dispositivos como PLC's y unidades de control compatibles con el mismo, a través de visual Basic por ejemplo podemos crear una aplicación (cliente) y comunicarnos con la unidad de control del drive de la compañía ABB como en este caso. De esta manera el OPC (servidor) se encargara de generar el protocolo necesario para el entendimiento entre el cliente y el dispositivo de control. Para configurar el OPC para dicho fin se deben configurar parámetros que permitan al servidor entender que variable por ejemplo, desea el cliente obtener del dispositivos y a que grupo pertenece. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Crear los grupos y los Ítems en el OPC SERVER del dispositivo a manipular en este caso NDCU51 (archivo ABB.SMP).
- Referenciar estas variables en la interfase OPC .
- Invocar las variables a través de un OPC Client (cliente), para este caso Visual Basic.

El *OPC Server for DDE* desarrollado por Matrikon, fue el utilizado desde el inicio de la construcción del módulo por lo tanto se continuo con el mismo. Dicho OPC detecta el hardware de comunicación con la unidad de control del drive a manejar. Esta interfase permite la configuración del servidor OPC y de las diferentes variables a monitorear y manipular de la NDCU por medio de una aplicación llamada “Data Manager” para el OPC Server de Matrikon, por lo tanto se seleccionó este paquete de software para el desarrollo de un Servidor OPC.

Figura 54. Interacción De Los Tipos De Aplicaciones.



➤ **Desarrollo de Un sistema OpC servidor A través del software de Matrikon.**

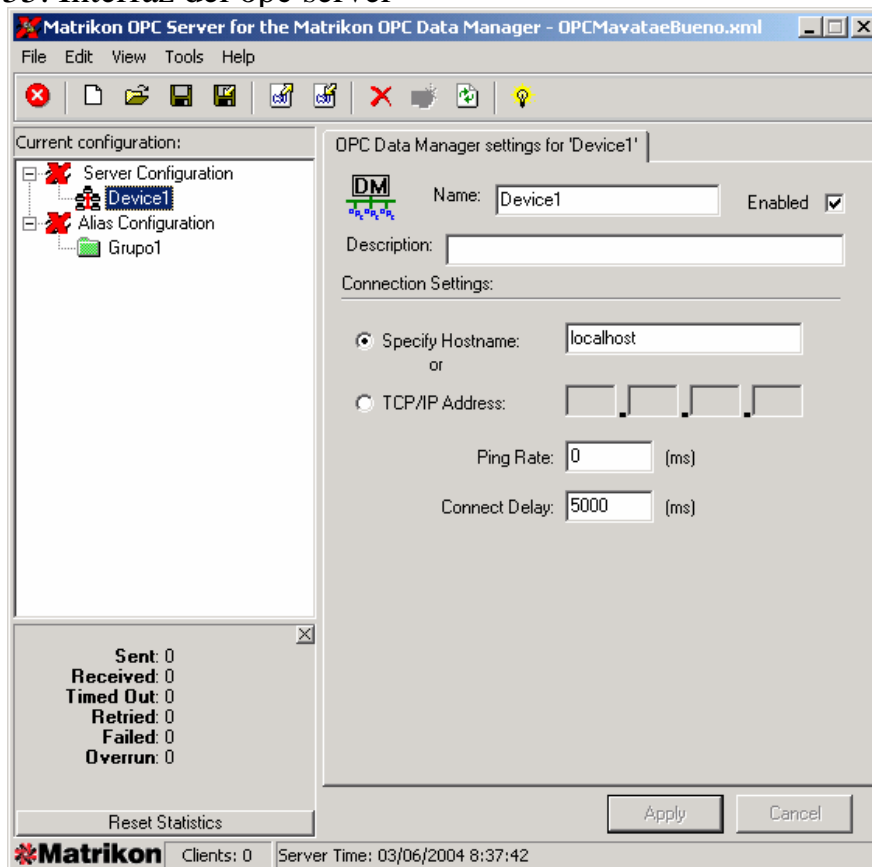
El desarrollo de un sistema OPC Server, es realizado a través del software denominado *OPC Server for DDE*, y el software que permite la configuración de las variables a observar se conoce como *Matrikon Data Manager*, estas dos aplicaciones son utilizadas de la siguiente manera:

Paso 1: Instalar el software Matrikon OPC Server for DDE y Matrikon Data Manager contenido en el CD.

Paso 2: Abrir el programa Matrikon Opc Server.

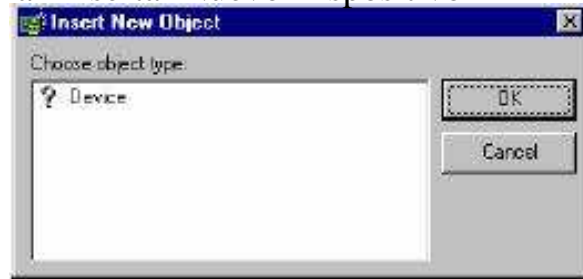
Paso 3: Ya en el entorno del Opc Server, crear un nuevo archivo mediante la opción file -> new.

Figura 55. Interfaz del opc server



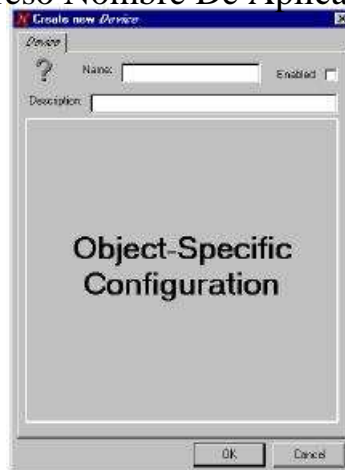
Paso 4: Seleccionar la opción server Configuration, para crear una nueva aplicación. En el cuadro de dialogo new Device del menú Editar pulse el botón “OK”.

Figura 56. Ventana “Insertar Nuevo Dispositivo”



Paso 5: En el cuadro de dialogo New Device-Name escriba el nombre de la prueba y pulse el botón “OK”.

Figura 57. Ventana “Ingreso Nombre De Aplicación”



Paso 6: Ahora procedemos a crear en la carpeta de Alias Configuration, los ítems y los grupos de la manera en que se direccionan a la NDCU.

Figura 58. Ventana “Ingreso De Alias”



Paso 7: Adicionamos los ítems para referenciar al parámetro que se quiere visualizar. Por ejemplo, para visualizar la velocidad del motor, del grupo de señales actuales, en el index 2 denominada “SPEED ESTIMATED 1,02” es:

Localhost\ABB.SMP\0}{1}Par.1.2

Este ítem es nombrado “Device1\grupo1\velocidad”, en el campo referente al Nombre del mismo.

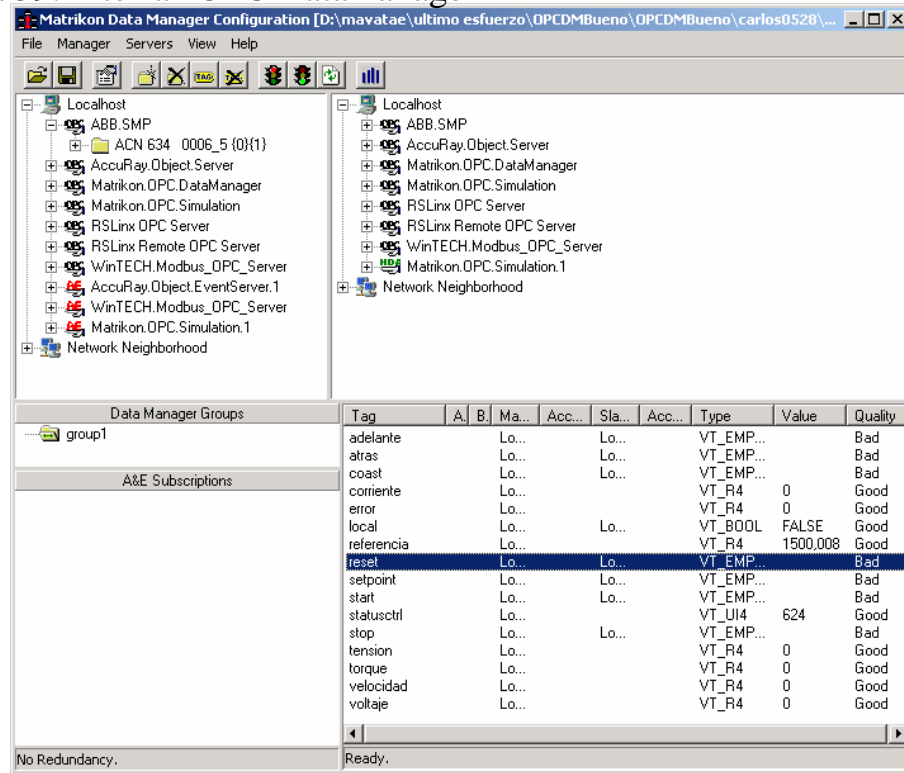
Paso 8: Se Guarda la aplicación y se cierra la interfaz Opc server.

¿Referenciar las variables a la Interfase del OPC?

Paso 9: Se inicia el Data Manager y se abre el Device con los grupos e itemtag que se crearon en el Opc Server. Este procedimiento se efectúa de manera similar a los pasos desarrollados para crear los grupos e ítems en el

OPC Server, mediante los iconos de “Add New Group” y “Add New Item” en donde se especifican el nombre del ítem y su direccionamiento.

Figura 59. Interfaz OPC Datamanager



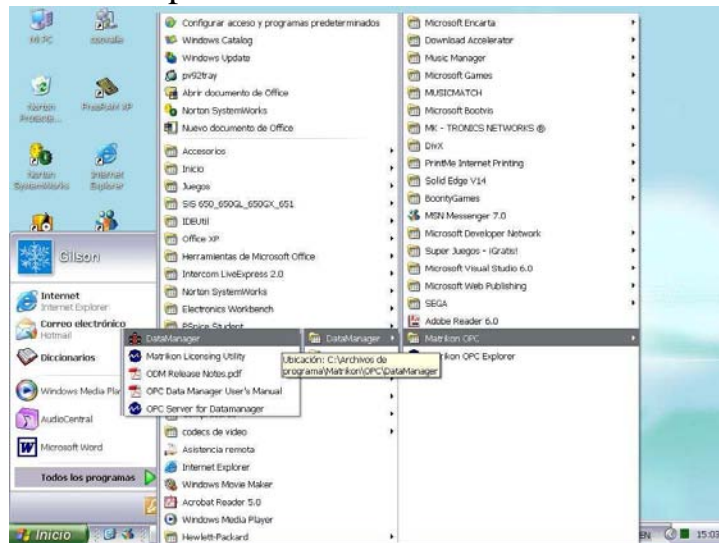
Para efectos de que la práctica en el módulo sea mucho más sencilla en cuanto esta parte del OPC los archivos en donde se crearon los ítems (variables a comunicar) y la parte de configuración del dispositivo quedaron grabados en el CD y el PC como archivos de solo lectura en la siguiente dirección:

C:\MÓDULO_APRENDIZAJE\OPC_SERVER\OPC Mavatae MKNET

¿Cómo iniciarlo y conectarlo con el cliente visual basic?

Paso 1: Abra el opc de matrikon como se muestra en la siguiente figura.

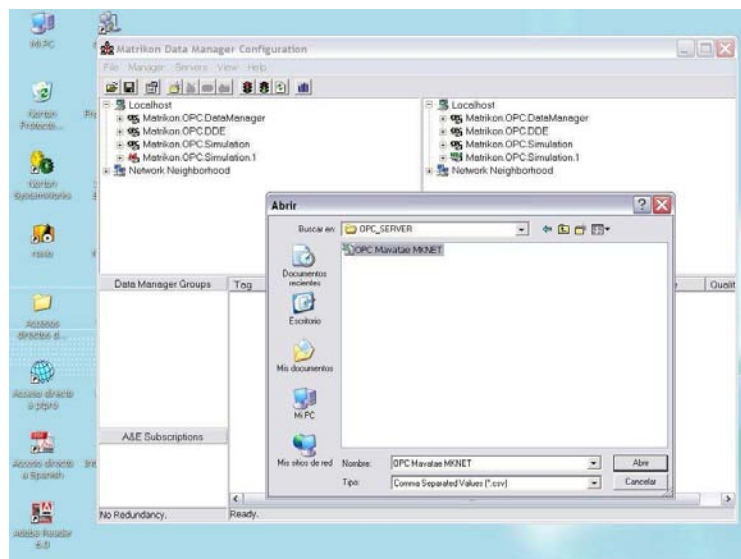
Figura 60. Ventana “Apertura del Matrikon”



Paso 2: Abra el “Datamanager” y dirijase al siguiente archivo:

C:\MÓDULO_APRENDIZAJE\OPC_SERVER\OPC Mavatae MKNET

Figura 61. Ventana “Datamanager”



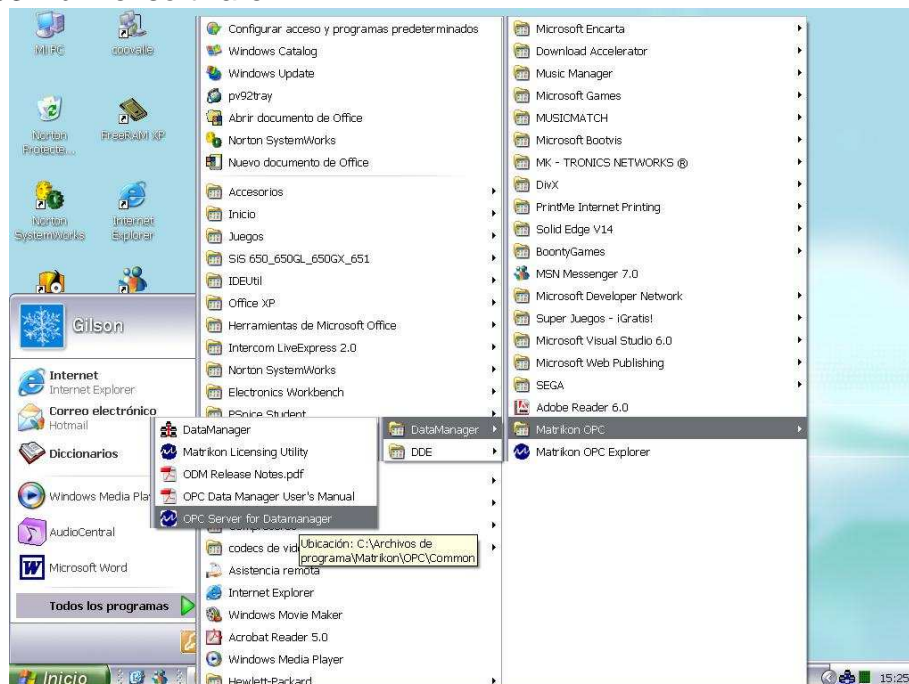
¡Felicitaciones! ya estas conectado al Datamanager, debes cerciorarte de que un nuevo icono haya aparecido en la barra de tareas.

Paso 3: Ahora debes realizar el mismo procedimiento con el “OPC server for Datamanager” incluyendo el paso 2. Te encontraras con los siguientes pantallasos, encontraras los nuevos iconos en la barra de tareas.

Figura 62. Ventana “Iconos OPC”



Figura 63. Abrir el software MAVATAE



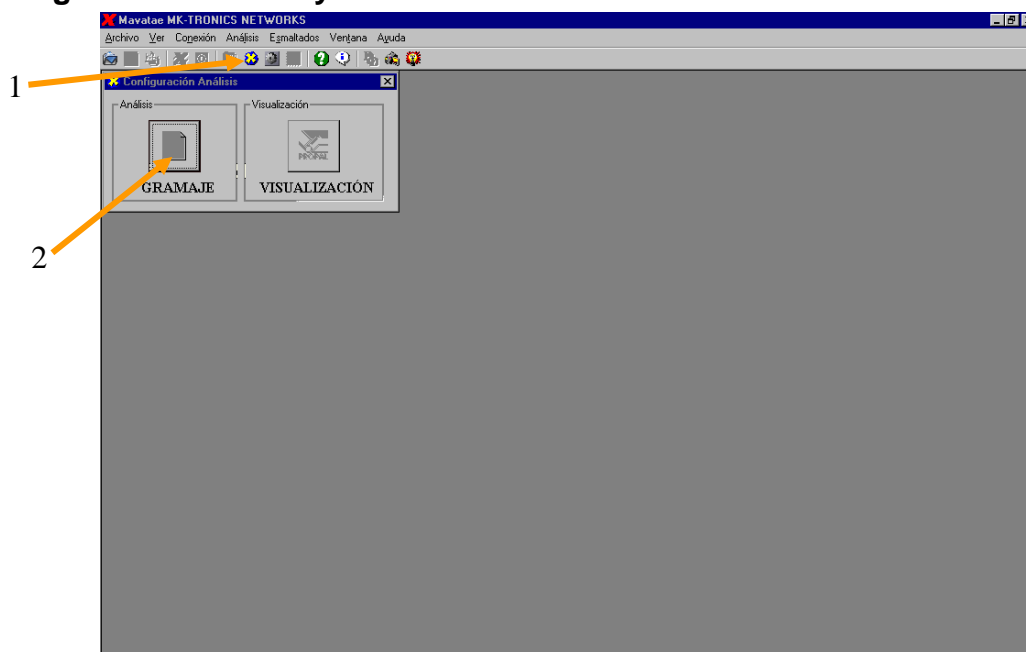
Después de haber realizado exitosamente el proceso de inicialización del OPC se procede al segundo punto básico.

➤ **Abriendo El Software Mavatae.**

Que aparece al hacer clic en el botón de inicio de la pantalla principal de windows, y se encuentra con el titulo:

“ MK-TRONICS NETWORKS ”.

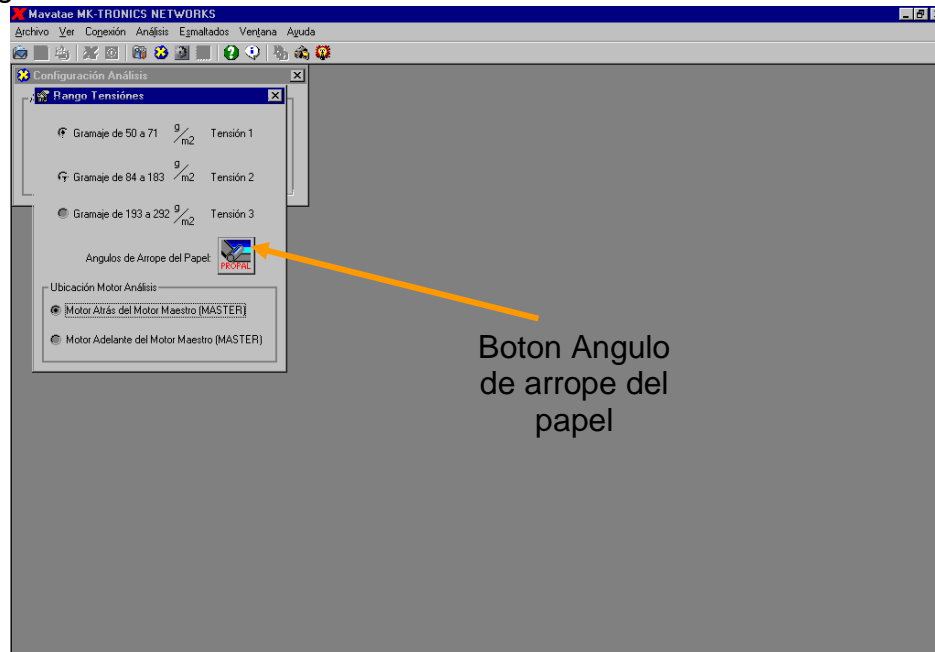
Figura 64. Pasos 1 y 2.



Paso 1: Oprimir icono “Analizar” o hacer click en la barra principal en la opción Análisis. Cuando se oprime este botón aparece una ventana donde hay dos opciones, las cuales son “Gramaje” y “Visualización”. Para ver la visualización se debe tener instalado en el PC un reproductor de video.

Paso 2: Oprimir botón “Gramaje”.

Figura 65. Pasos 3.



Paso 3: Esta ventana aparece cuando se oprime “Gramaje”, en ella se puede escoger el gramaje del papel y la forma de medir la tensión, las cuales son dos, en adelante es cuando la celda de carga esta adelante del motor al cual esta le hace la realimentación y en atraso es cuando la celda de carga esta atrás del motor al cual esta le hace la realimentación. Se debe tener en cuenta que en adelante la tensión y la velocidad son inversamente proporcionales y en atraso son directamente proporcionales.

Figura 66. Configuración.

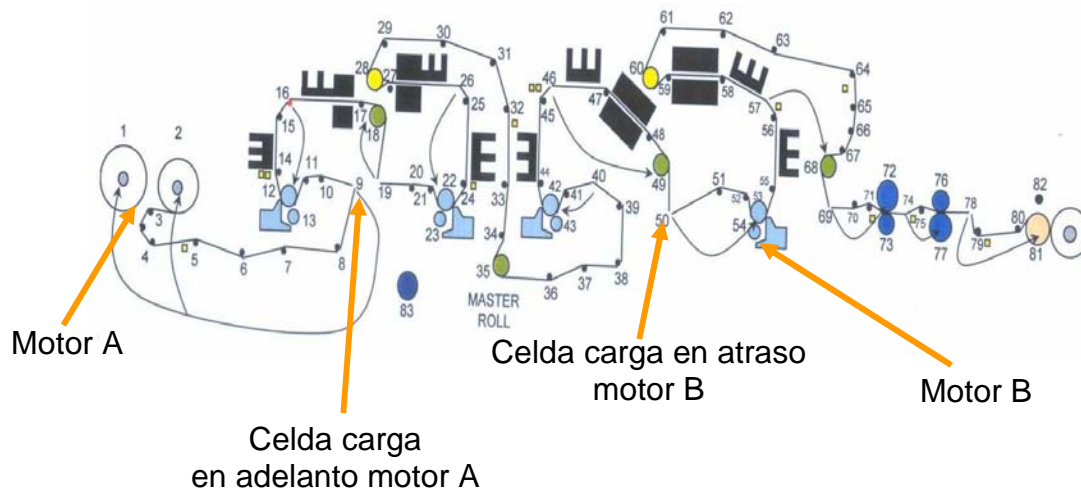
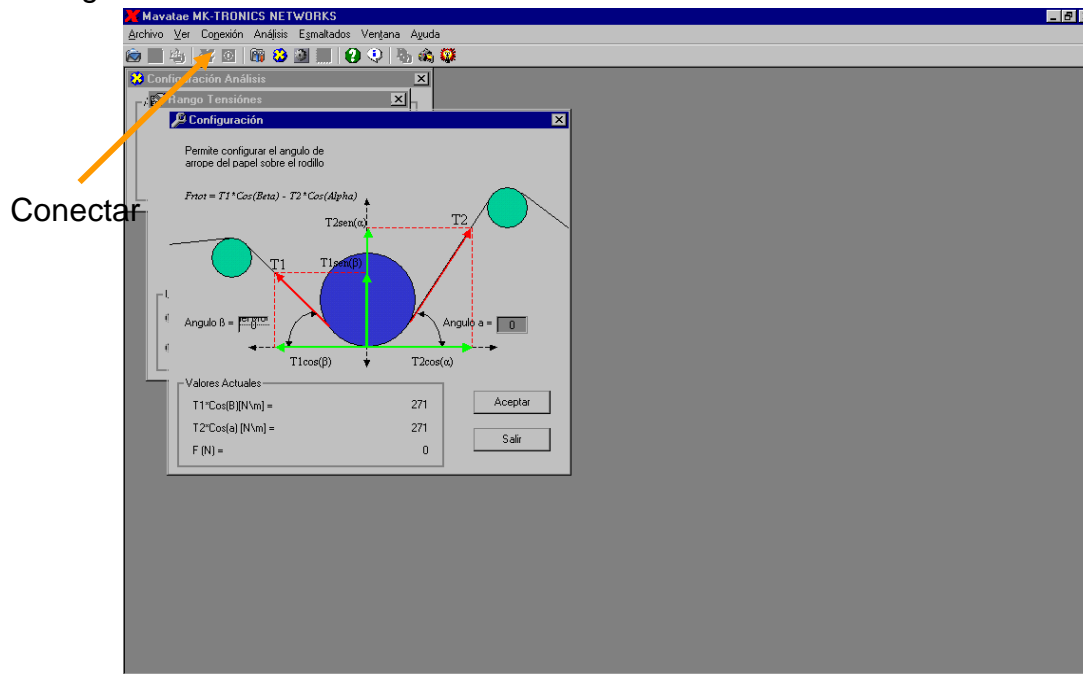


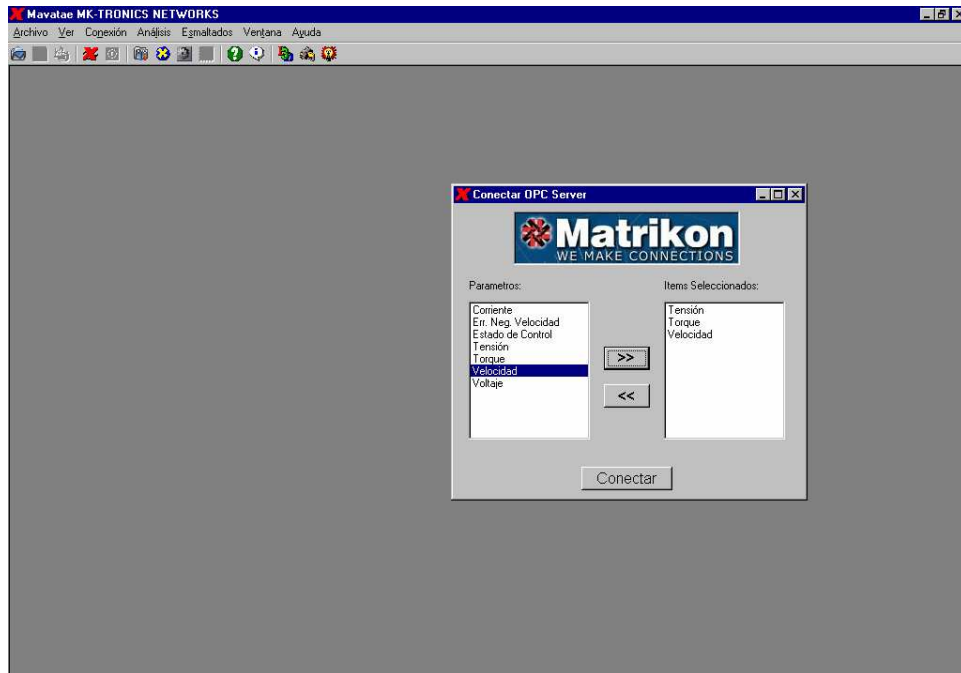
Figura 67. Pasos 4.



Paso 4: Cuando se oprime el botón “ángulo de arrojé del papel” del paso 3, esta ventana aparece y en ella se puede cambiar los ángulos de arrojé del

papel y a su vez cuando se oprime aceptar se calcula automáticamente la tensión y el icono “Aceptar” se habilita.

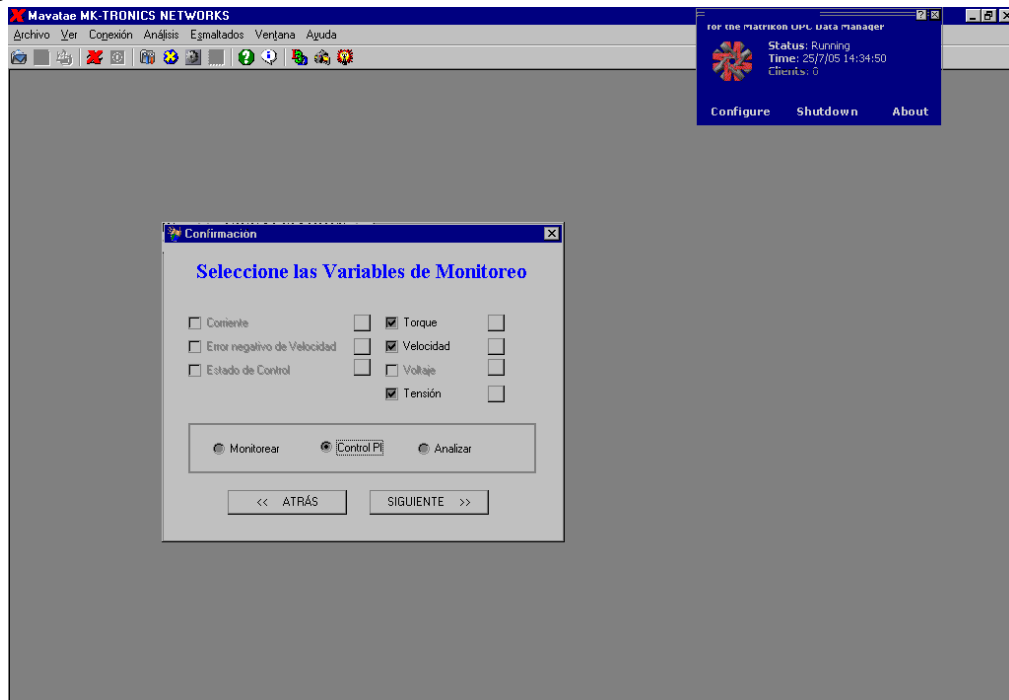
Figura 68. Paso 5.



Paso 5: En este paso se ha oprimido el icono “Conectar” de la barra principal (paso 4). Y despliega una lista de parámetros los cuales pueden ser trasladados al lado derecho para así escoger que variables se desean monitorear.

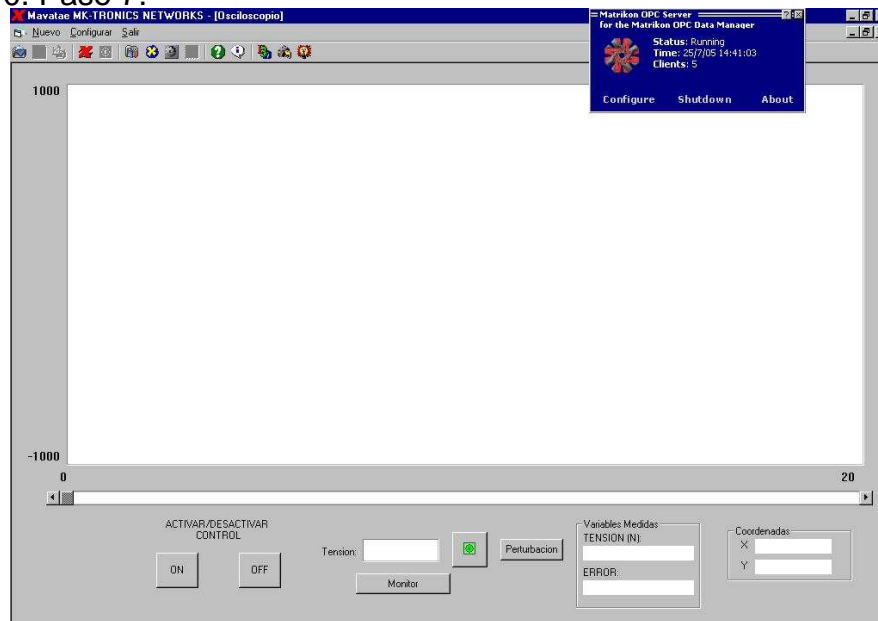
Con la flecha a la derecha se adiciona el parámetro y con la flecha izquierda se quita. Al terminar de adicionar los parámetros se oprime “Conectar”.

Figura 69. Paso 6.



Paso 6: Luego de oprimir conectar en la ventana anterior se despliega esta ventana, la cual contiene los parámetros escogidos para minitorear y ademas tres opciones las cuales son: Monitorear, Control PI y Analizar. Si escogemos “Control PI” se desplegara el osciloscopio con las nuevas características además del control PI para simular la tensión. Antes de seguir a la siguiente ventana debe asegurarse que el OPC este cargado, la forma de confirmar esto es por medio de la ventana azul que se encuentra en la parte superior derecha.

Figura 70. Paso 7.



Paso 7: Esta es la ventana que contiene el nuevo osciloscopio, en ella existen menús los cuales sirven para cambiar los parámetros de los ejes y el tiempo de muestreo, como también la opción de crear un nuevo osciloscopio. Luego de cargar los parámetros y de hacer clic en Nuevo Osciloscopio todos los controles se habilitarán. Para fijar el setpoint de velocidad del papel se debe oprimir el botón “Monitor” el cual desplegará la ventana en donde se configura dicho parámetro. A su vez en esta ventana se puede fijar el set point de tensión, darle start al sistema y simular una perturbación en la tensión causada por un cierre de combis entres otras. En la parte inferior derecha también se puede observar la coordenada exacta donde de un punto de la gráfica.

Figura 71. ventana “cargar parametros”.

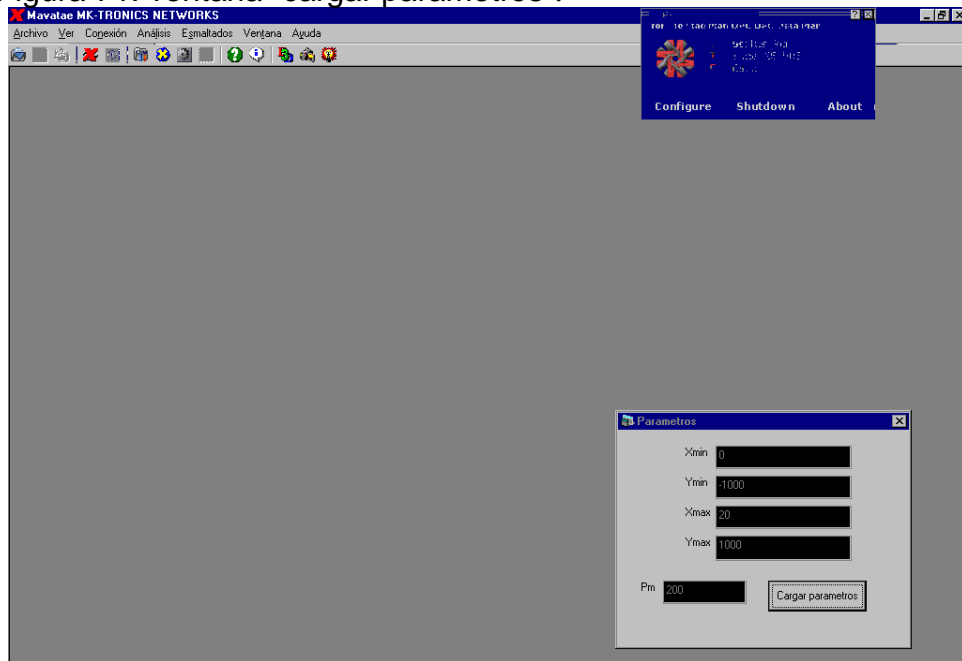
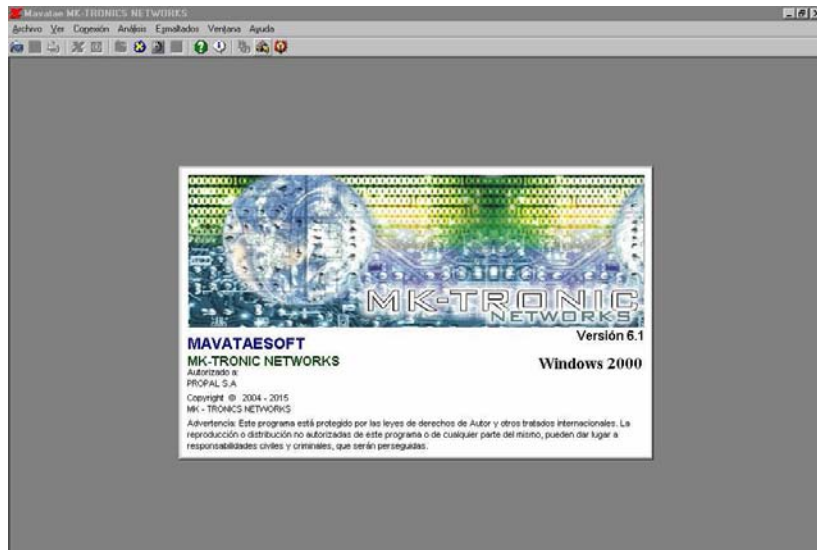


Figura72. Presentación



1.2. MANTENIMIENTO.

Drive ACS 600: Mantenga libre de polvo, grasa y otros, este dispositivo para obtener el mayor rendimiento del mismo, limpie con aspiradora y trapos secos.

Figura 73. ACS 600



Cortesía Propal S.A

1.3. PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE

Estos son los pasos que se deben seguir para arrancar el drive por primera vez.

- Cargar los datos del motor: Lo primero que se debe hacer es cargar los parámetros de placa del motor. En los parámetros 99.02 hasta 99.12. Los parámetros deben ser cargados exactamente como dice en la placa, por ejemplo si la velocidad nominal es de 1440 rpm y en

el parámetro MOTOR NOM SPEED(99.05) se ingresa 1500 rpm se producirá una mala operación del drive.

- Motor ID run = Arranque de la identificación del motor: Lo primero que se debe hacer es verificar la velocidad medida y la dirección del sentido de rotación. Para este proceso hay dos formas: con encoder o sin encoder. A continuación se explicarán estos dos métodos.

Tabla 11.Arranque Sin encoder

Acción	Parámetro
Chequear la proporción de velocidad del motor.	50.01
Reiniciar y arrancar el motor	Desde Drive Window
Arrancar motor.	Desde Drive Window
Cargar un valor pequeño de referencia.	Desde Drive Window

±

Acción	Parámetro
Chequear la proporción de velocidad del motor.	50.01
Cargar INTERNAL en SPEED FB SEL.	50.03
Cargar el número de pulsos por revolución del encoder.	50.04
Revisar los otros parámetros del grupo 50.	50.01 – 50.14
Reiniciar y arrancar el motor	Desde Drive Window
Cargar un valor pequeño de referencia.	Desde Drive Window
Chequear el sentido de rotación del eje y la velocidad medida.	1.03 = 1.02
Parar el motor.	Desde Drive Window
Cargar en SPEED FB SEL el numero 2.	50.03
Arrancar motor.	Desde Drive Window
Verificar que SPEED ESTIMATED Y SPEED MEASUREMENT son las mismas.	1.02 y 1.03
Parar el motor.	Desde Drive Window

Tabla 12.Arranque Con encoder

Cuando el sentido de rotación es el correcto y la referencia de velocidad es positiva, la velocidad actual o SPEED MEASUREMENT(1.03) debe ser positiva e igual a SPEED ESTIMATED(1.02). Si este no es el caso a continuación se darán las posibles causas:

- Si la dirección de rotación es correcta y la señal 1.03 es negativa, los terminales del encoder están invertidos.
- Si la dirección de rotación es incorrecta y la señal 1.03 es negativa, los cables del motor están mal conectados.

- Si la dirección de rotación es incorrecta y la señal 1.03 es positiva, tanto el motor como el encoder están mal conectados.

Luego de identificar el problema y antes de tomar alguna acción debe desconectar la energía del drive y esperar 5 minutos para que los condensadores del circuito se descarguen.

Luego de verificar que todos los parámetros están bien, se procede a seleccionar el ID RUN o modo de identificación. Durante el ID RUN el motor debe moverse entre un 50% y un 80% de su velocidad nominal. Además asegúrese que es seguro arrancar el motor antes de iniciar el ID RUN. El parámetro MOTOR ID RUN(99.07) es el encargado de seleccionar el tipo de ID RUN :

- 99.07 = "1": Si se pone 1 en este parámetro el ID RUN no será realizado. Este estado se conoce como FIRST START.
- 99.07 = "2": Si se pone 2 se estará seleccionando el modo STANDARD, el cual garantiza la mejor precisión posible del control. Para realizar este modo del ID RUN el motor debe estar desacoplado del equipo o mecanismo que va a manejar. Sin embargo, existen algunos casos donde se puede trabajar con este modo cuando la carga que va a mover se encuentra acoplada, por ejemplo si esta solo genera inercia.
- 99.07 = "3": Si se pone 3 se estará seleccionando el modo REDUCED, este modo del ID RUN debe ser seleccionado si la perdidas mecánicas

son superiores al 20% ya sea por que el motor tiene dispositivos auxiliares conectados en paralelo o por que no puede ser desacoplado de su carga.

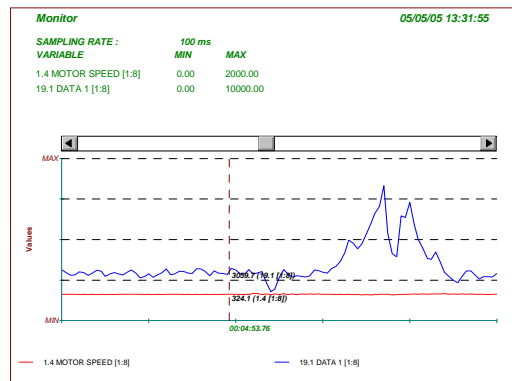
Se debe tener en cuenta también que si se selecciona el modo ID RUN es por que se va hacer control de velocidad sin encoder. Además no siempre es necesario trabajar con este modo ya que en aplicaciones de bombeo o ventilación no importa una gran precisión en el torque del motor y también cuando existe más de un motor conectado a un solo ACS 600. Por otro lado, ya que se puede hacer control de torque por medio del método DTC o el método SCALAR, el ID RUN solo sirve para el método DTC, así que si se va a trabajar con SCALAR el MOTOR ID RUN(99.07) debe ser 1. Cuando el ID RUN termine el parámetro 8.02 o AUX STATUS WORD BIT 7 se pondrá en uno.

El control escalar o SCALAR CONTROL es recomendado para aplicaciones multimotor drives. también es recomendado cuando la corriente nominal del motor es menor a $1/6$ de la corriente nominal del inversor, o cuando el inversor es usado en propósitos de prueba sin que tenga algún motor conectado.

2. GRAFICAS DE MONITOREO DE LA OMC.

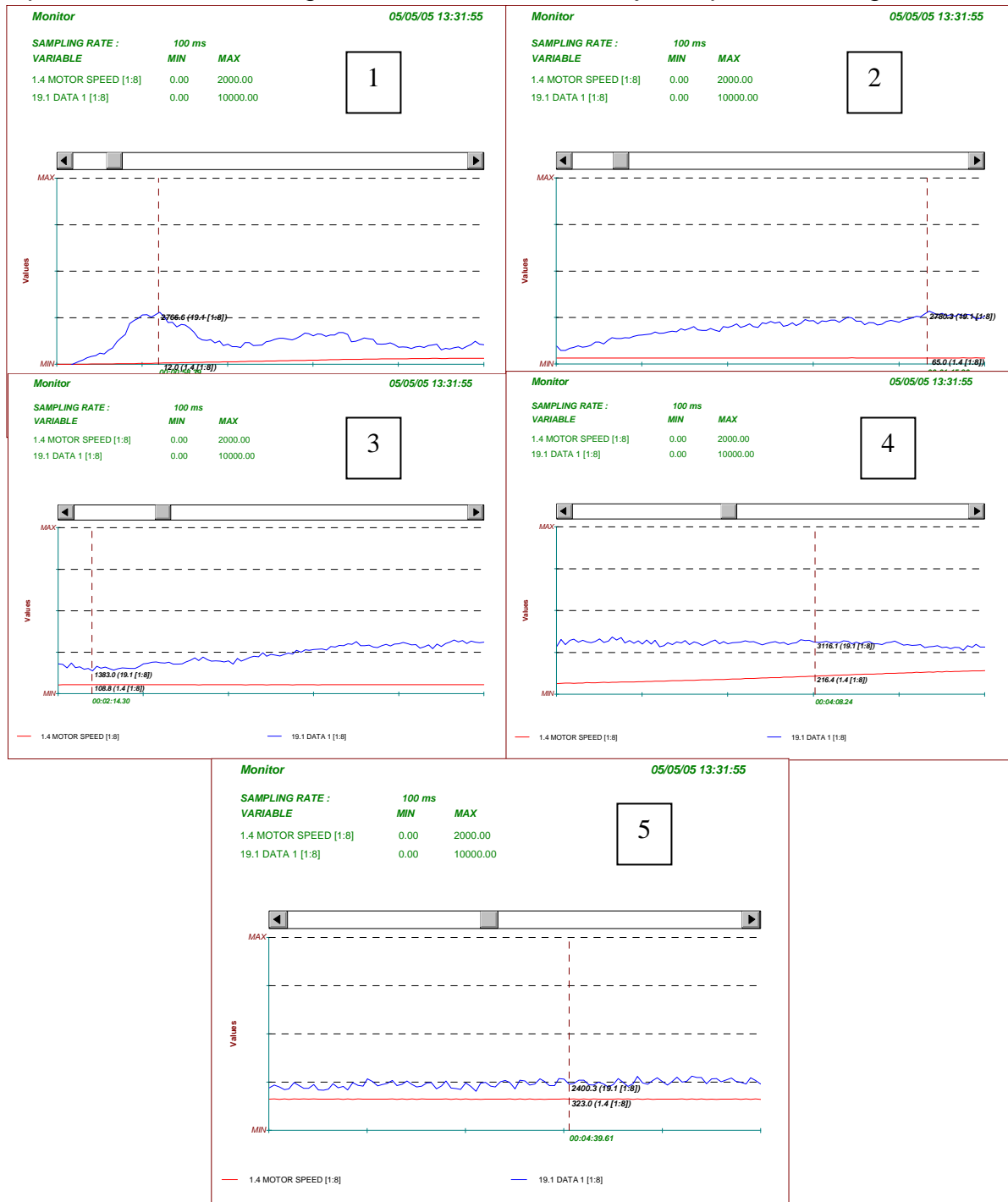
Las siguientes gráficas se sacaron en línea directamente de la máquina esmaltadora, con el fin de investigar los parámetros de control tales como el tiempo de estabilización, el sobreimpulso y los tiempos de respuestas a perturbaciones. En las graficas la línea azul es la tensión y la roja es la velocidad.

Figura 74. Cierre de combis



En la figura 73 se puede observar la perturbación en la tensión que se produce cuando uno de los combis se cierra. En esta figura se puede observar que la perturbación dura 1.5 segundos aproximadamente, teniendo en cuenta que cada división en el eje x equivale a 1 segundo.

Figura 75. Secuencia de estabilización. Se puede observar que dura aproximadamente 25 segundos. Cada división del eje x equivale a 1 segundo.



3. TIPOS DE CONTROLADORES

3.1. CONTROLADOR PROPORCIONAL (P):

El controlador proporcional es el tipo más simple de controlador, la ecuación con que se describe su funcionamiento es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c(r(t) - c(t))$$

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) \quad (1)$$

Donde:

m(t) = salida del controlador.

r(t) = punto de control (set point).

c(r) = variable que se controla, ésta es la señal que llega del transmisor.

e(r) = señal de error, ésta es la diferencia entre el punto de control y la variable que se controla.

K_c = ganancia del controlador.

\bar{m} = valor base. El significado de este valor es la salida del controlador cuando el error es cero; generalmente se fija durante la calibración del controlador.

En el control proporcional si la variable que se controla **c(r)**, se incrementa en un valor superior al punto de control **r(t)**, el error se vuelve negativo y como

se ve en la ecuación la salida del controlador $m(t)$ decrece. La manera común con que se designa matemáticamente un controlador de acción proporcional es haciendo negativa la ganancia K del controlador, sin embargo, se debe recordar que en los controladores industriales no hay ganancias negativas si no únicamente positivas, lo cual se resuelve con el selector inverso/directo. La K negativa se utiliza cuando se hace el análisis matemático de un sistema de control en el que se requiere un controlador de acción directa o proporcional. La salida del controlador es proporcional al error entre el punto de control y la variable que se controla; la proporcionalidad la da la ganancia K , con esta ganancia o sensibilidad del controlador se determina cuánto se modifica la salida del controlador con un cierto cambio de error. Los controladores proporcionales tienen la ventaja de que solo cuentan con un parámetro de ajuste K , sin embargo, adolecen de una gran desventaja, operan con una DESVIACIÓN, o “error de estado estacionario” en la variable que se controla, que consiste en que el valor final de la salida cuando el sistema esta estable queda por debajo o por encima de el punto de control o set point.

3.2. CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL (PI):

En la mayoría de los procesos se requiere que el valor real a la salida sea lo mas aproximado al valor deseado (punto de control), es decir, no tener una desviación, por lo cual se debe añadir inteligencia al controlador

proporcional, para eliminar la desviación. Esta nueva inteligencia o nuevo modo de control es la acción integral o de reajuste y en consecuencia, el controlador se convierte en un controlador proporcional-integral (PI). La siguiente es su ecuación descriptiva:

$$m(t) = \bar{m} + K_c[r(t) - c(t)] + \frac{K_c}{\tau_I} \int [r(t) - c(t)] dt$$

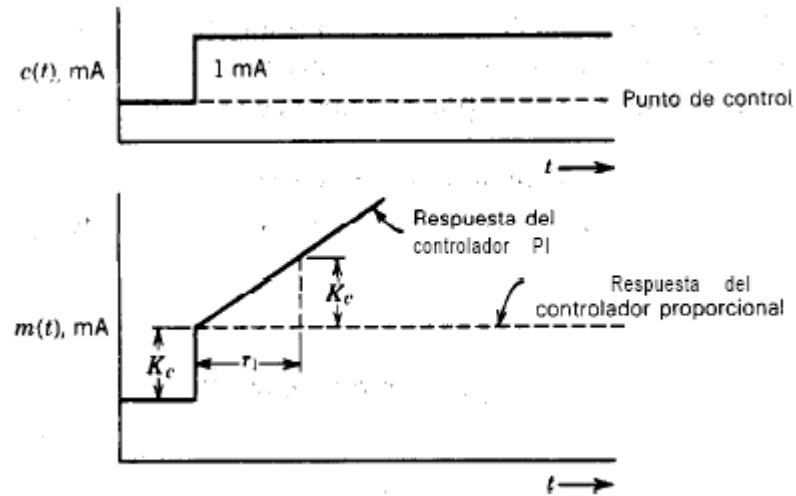
$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt \quad (2)$$

Donde:

Ti = tiempo de integración o reajuste minutos/repetición.

El controlador PI tiene dos parámetros **K** y **Ti**, que se deben ajustar para obtener un control satisfactorio. La acción física del tiempo de reajuste consiste en repetir la acción proporcional cada vez que se cumpla este tiempo y en consecuencia, las unidades son minutos/repetición. Tanto menor es el valor de **Ti**, más pronunciada es la curva de respuesta, lo que significa que la respuesta del controlador se hace más rápida, si el error se mantiene el controlador seguirá integrando (sumando) hasta eliminarlo. En la figura se puede entender mejor el comportamiento del controlador.

Figura 76. Respuesta del controlador **(Pi)** a un Cambio escalón en el error.



3.3. CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO (PID).

El controlador PID es un nuevo modo de control en donde se integra una nueva acción, la acción derivativa que también se conoce como rapidez de derivación o preactuación; tiene como propósito anticipar hacia dónde va el proceso mediante la observación de la rapidez para el cambio del error, su derivada. La ecuación descriptiva es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

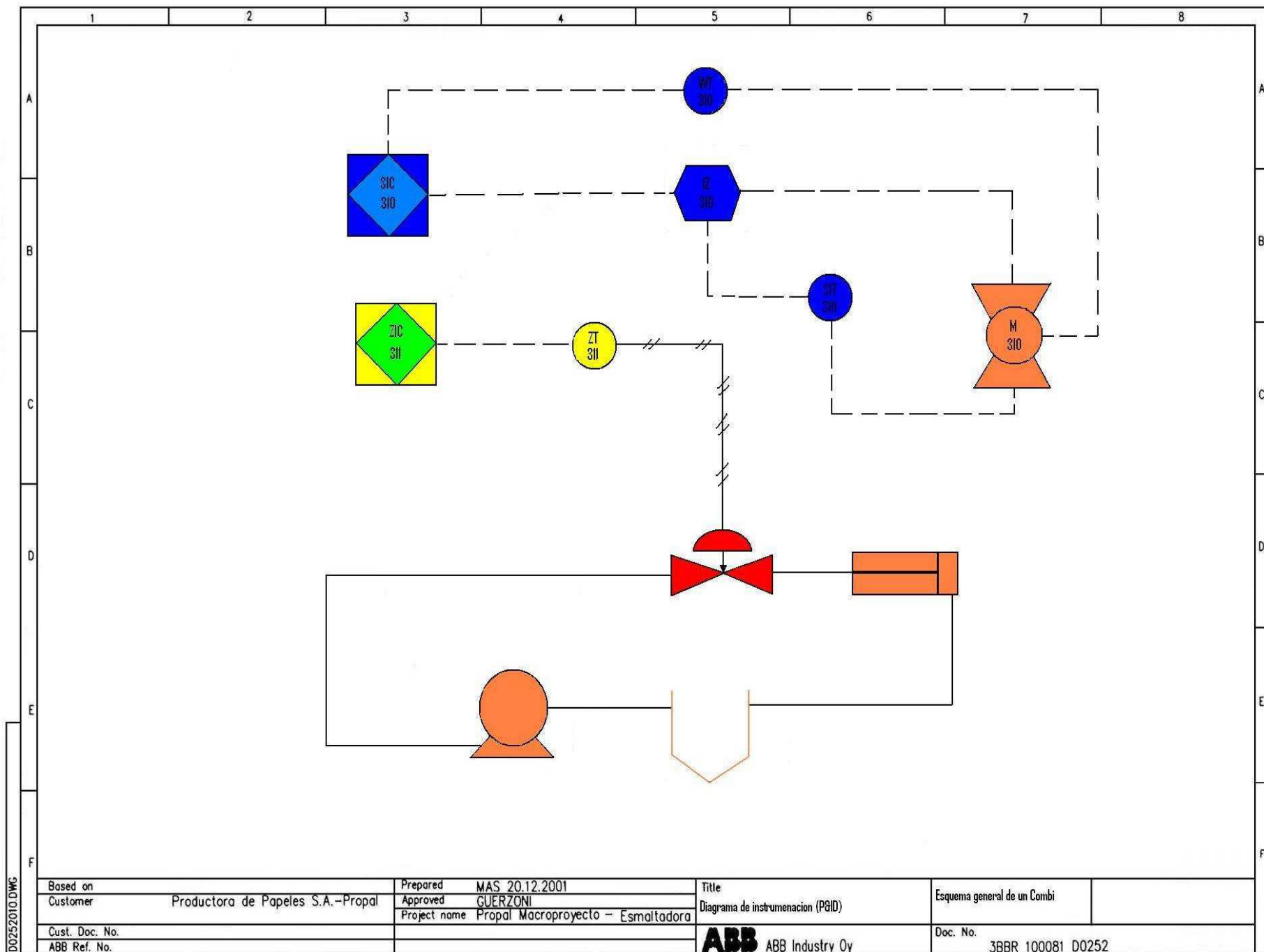
Donde:

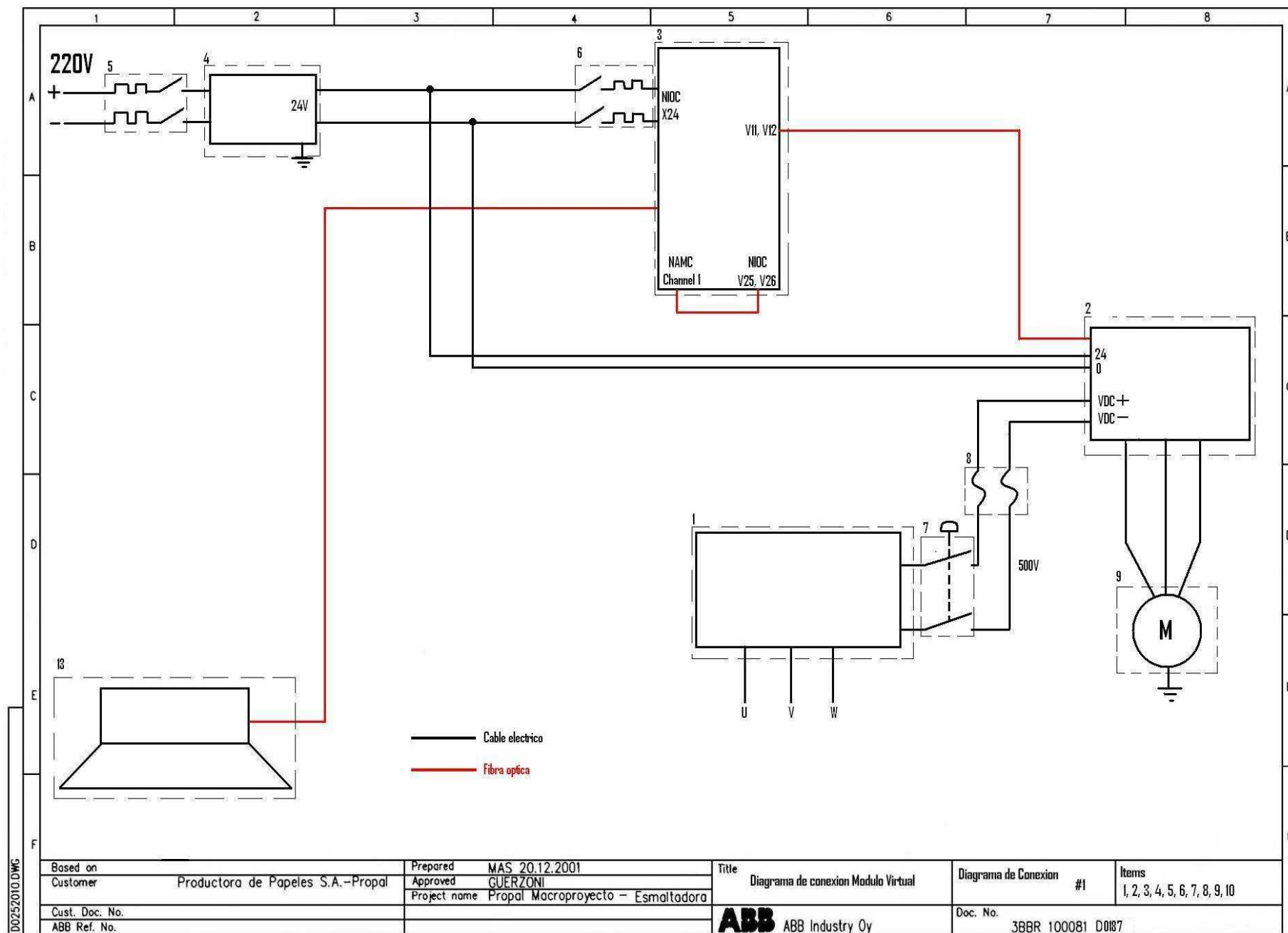
Td = rapidez de derivación en minutos.

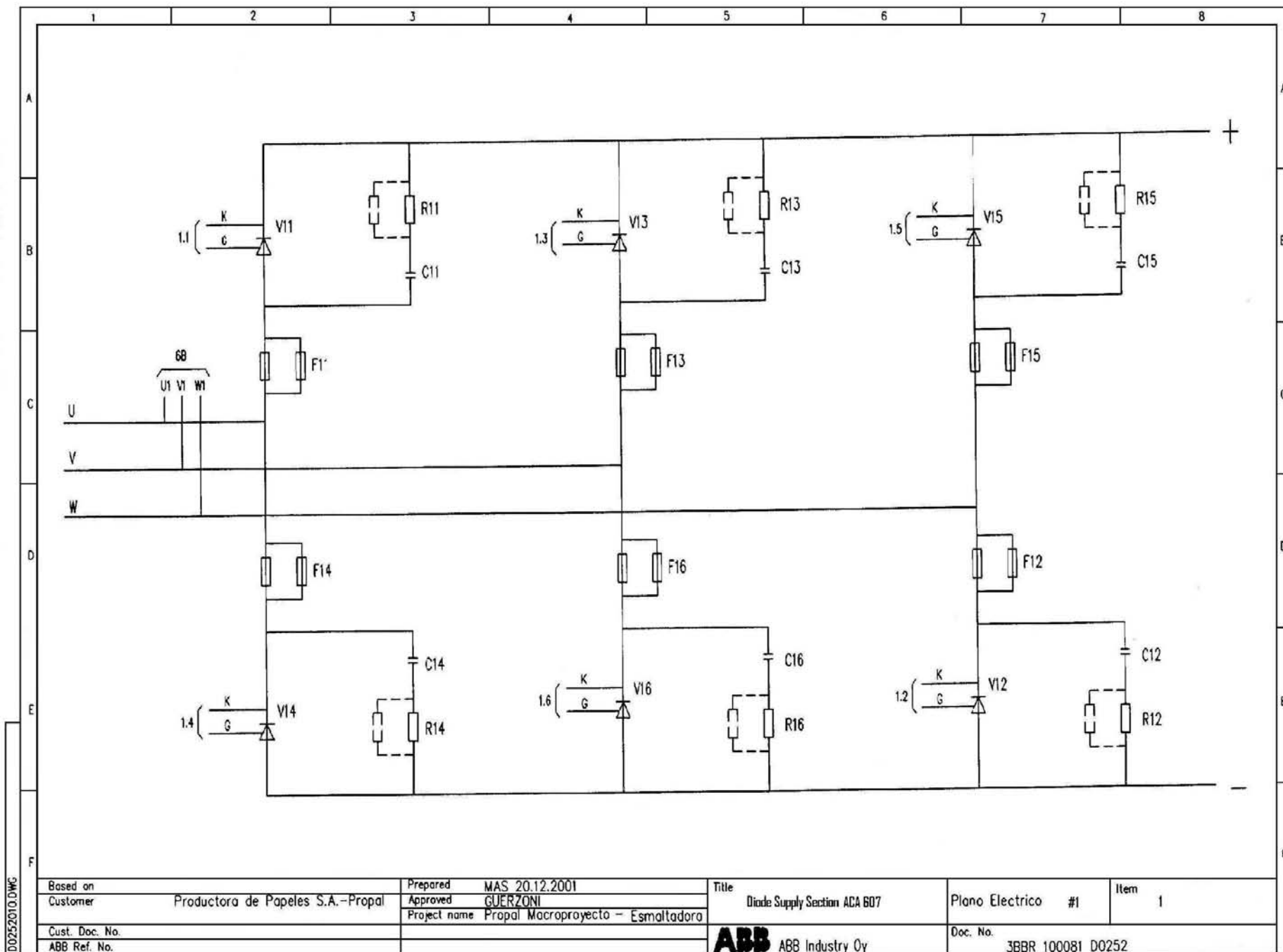
El controlador PID tiene tres parámetros K, Ti y Td que se deben ajustar para obtener un control satisfactorio. El parámetro de derivación tiene las

mismas unidades (minutos) , para todos los fabricantes. Como se acaba de mencionar con la acción derivativa se da al controlador la capacidad de anticipar hacia dónde se dirige el proceso, es decir, “ver hacia adelante” mediante el calculo de la derivada del error. La cantidad de “anticipación” se decide mediante el valor del parámetro de ajuste T_d .

Los controladores PID se utilizan en procesos donde las constantes de tiempo son largas, Ejemplos típicos de ello son los circuitos de temperatura y los de concentración. Los procesos en que las constantes de tiempo son cortas (capacitancia pequeña) son rápidos y susceptibles al ruido del proceso para estos utilizaríamos un PI, son característicos de este tipo de proceso los circuitos de control de flujo y los circuitos para controlar la presión en corrientes de líquidos.







178

